

**TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
MATERIAALI- JA KALLIOTEKNIIKAN OSASTO  
KALLIOTEKNIIKAN LABORATORIO**

**Jon Willberg**

**Kallioon rakennettujen sillojen rakennustekniikka ja  
käyttökokemukset**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 3.12.2002.

Teknillinen korkeakoulu  
Materiaali- ja kalliotekniikan  
osaston kirjasto  
PL 6200 (Vuorimiehentie 2)  
02015 TKK

**Työn valvoja:** \_\_\_\_\_

**Professori Pekka Särkkä**

**Työn ohjaaja:** \_\_\_\_\_

**FK Ossi Ikävalko**

## Alkusanat

Tämä työ on tehty kalliotekniikan laboratoriossa yhteistyössä eri tahojen kanssa. Työn rahoittajana ovat olleet Espoon kaupunki, Helsingin kaupunki, Vantaan kaupunki, Tieliikelaitos, Tiehallinto sekä YIT Oyj. Kaikille mainituille osoitan kiitoksen kiinnostuksesta aihetta kohtaan.

Suuren kiitoksen saavat Eero Pokki ja Tapani Kokko, jotka antoivat käyttööni materiaalia jota ei olisi muualta saanut. Eero Hurmalainen ja Erkki Tuunela tarjosivat tietoa asioista jotka vaativat alan asiantuntijaa ja ansaitsevat kiitoksen.

Suurin ammatillinen kiitos kuuluu luonnollisesti työn valvojalle sekä ohjaajalle. Ossi Ikävalko antoi erityisesti työn loppupuolella aikaansa erittäin paljon, josta esitänkin suurikiitokset. Professori Pekka Särkkä on hoitanut kiitettävällä tavalla työn valvonnan alusta loppuun saakka.

Eniten tukea olen kuitenkin saanut kotoa perheeltä. Ninalle suuret kiitokset että jaksot kannustaa alusta loppuun asti, vaikka kotona oli Jonnakin kannustamassa päivästä sekä yöstä toiseen. Kiitos Mikalle, Annalle ja vanhemmille jotka tukivat koko opiskeluni ajan ja tekivät tämän diplomityön mahdolliseksi.

Kiitos kaikille opiskelukavereille jotka jaksotte olla opiskeluni ajan mukana kaikenlaisessa toiminnassa niin kotimaassa kuin ulkomaillakin.

Otaniemi 3.12.2002 \_\_\_\_\_

Jon Willberg

Tekijä: Jon Willberg

Työn nimi: Kallioon rakennettujen siilojen rakennustekniikka ja käyttökokemukset

Päivämäärä: 3.12.2002

Sivumäärä: 49 + 15

Osasto: Materiaali- ja kallioteekniikan osasto

Professuuri: Mak-32 Kalliorakentaminen

Työn valvoja: Professori Pekka Särkkä

Työn ohjaaja: FK Ossi Ikävalko

Avainsanat: Peränajo, louhinta, siilo, tunneli

Työn tarkoituksena on ollut selvittää kallioon louhittujen siilojen rakennustekniikkaa ja niiden käyttökokemuksia. Tutkittavien siilojen tyyppinä on ollut hiekka- ja suolasiilot. Tarkasteltavana on ollut pääkaupunkiseudun hiekka- ja suolasiilot sekä rakenteilla oleva hiekkasiilo Espoon Olarissa.

Työn kirjallisuusosassa on tarkasteltu kallion louhintatekniikkaa, siilorakennelman hankintasuunnitelmaa sekä varastointia kalliosiiloissa.

Työn kokeellisessa osassa on seurattu tiiviisti siilokokonaisuuden louhimista Espoon Olariin. Työssä on tarkasteltu koko louhinnan elinkaari sisältäen maankaivuun, avolouhinnan, tunnelinajon ja siilojen louhinnan.

Käyttökokemuksista on selvitetty siilokäytien avulla mitä ongelmia ja etuja on saavutettu sijoittamalla hiekka- ja suolavarastoja siiloihin maan alle. Tutkimus on rajattu käsittämään siiloja jotka sijaitsevat pääkaupunkiseudulla.

Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa siilojen olevan erittäin käyttökelpoisia hiekan ja suolan varastoimiseen. Louhintateknisesti siilot osataan Suomessa rakentaa, mutta niiden suunnitteluun tulee keskittyä. Suunnitelmien tulee käsittää siilojen pitkä elinikä, jolloin tunnelin tilavaatimukset saattavat kasvaa. Vesieristykseen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Author: Jon Willberg

Title of thesis: Silos built in bedrock and their operation experiences

Date: 3.12.2002

Number of pages: 49 + 15

Department: Department of Materials Science and Rock Engineering

Chair: Mak- 32 Rock Engineering

Supervisor: Prof. Pekka Särkkä

Instructor: FK Ossi Ikävalko

Keywords: Tunneling, excavation, silo, tunnel

The purpose of the thesis was to find out operation experiences of the silos built in bedrock. The purpose was also to examine silo excavation techniques. The examined silos were sand and salt silos. They are located in the greater Helsinki area, and the silo which was under construction is located in Olari, Espoo.

In the theoretical part of the thesis a literature study on rock engineering, operation plan and warehousing underground is presented.

In the experimental part of the thesis the excavation of a silo has been followed in Olari, Espoo. The life cycle of excavating the tunnel and silo was examined.

Operating experiences have been examined by inspecting existing silos. The benefits and problems have been listed to keep track where the solutions have been done well. The study consisted of only silos existing in the greater Helsinki area.

Results on the experimental part show that silos are very usable for storing sand and salt. Excavation techniques are well known by Finnish constructors, but the planning work is very important. On plans you have to take into consideration the long life cycle of the silos. Isolation of the water from the silo is a major thing, another is that tunnels have to be large enough also in the end of the life cycle.



## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1 Johdanto.....</b>	<b>2</b>
1.1 Tutkimuksen tausta.....	2
1.2 Tutkimusongelma .....	2
1.3 Tutkimuksen tavoitteet .....	2
1.4 Tutkimuksen rajaukset.....	2
<b>2 Louhintatekniikka.....</b>	<b>3</b>
2.1 Peränajo .....	3
2.2 Kuilunajo .....	9
<b>3 Kalliotilat varastoina .....</b>	<b>13</b>
<b>4 Kalliosiilot .....</b>	<b>17</b>
4.1 Historiaa .....	17
4.2 Hankesuunnitelma .....	18
4.3 Tutkimukset.....	19
4.4 Suunnittelu.....	19
<b>5 Olarin hiekkasiilo .....</b>	<b>28</b>
5.1 Lähtötiedot.....	28
5.2 Työmaan perustaminen sekä maankaivu.....	29
5.3 Tukimuuri .....	30
5.4 Avolouhinta .....	30
5.5 Ennakkopultitus tunnelin otsalle .....	30
5.6 Peränajo .....	30
5.7 Siilojen louhint.....	31
5.8 Huomioita.....	36
<b>6 Siilokäynnit .....</b>	<b>37</b>
<b>7 Johtopäätökset.....</b>	<b>44</b>
<b>8 Yhteen veto .....</b>	<b>47</b>
<b>KUVALUETTELO.....</b>	<b>48</b>
<b>KIRJALLISUUSLUETTELO.....</b>	<b>49</b>

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Suolan ja hiekan käyttö on ollut pääasiallisena keinona torjua liukkautta jalkakäytävillä ja maanteilla. Kallioon rakennettujen siilojen käyttö on ollut yleistä jo vuosikymmeniä. Siilot ovat tarjonneet hyvin vesieristettynä kuivat varastointiolosuhteet.

Tämän diplomityön tavoitteena on tarkastella pääkaupunkiseudulle rakennettuja hiekkasiiloja, rakentamistekniikkaa ja luoda yhteenveto niiden käyttökokemuksista.

## 1.2 Tutkimusongelma

Tutkimusongelmana on siilojen rakentaminen ja käyttökokemukset. Nykypäivänä ei ole olemassa yhteenvetoa siilojen rakentamisesta ja tekniikasta. Siilojen louhintatekniikka on ollut pitkään samanlaista, mutta suunnitteluratkaisut ovat usein olleet erilaisia. Työssä on esitetty minkälaiset ratkaisut ovat toimivia ja minkälaisia ratkaisuja ei tulisi tehdä.

## 1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on ollut tutkia siilon rakentamista. Työssä on pyritty luotaamaan läpi koko louhintatekninen rakentaminen, ja toteamaan ratkaisujen toimivuus. Työssä on koottu siilojen käyttökokemuksia, ja vertailtu niitä toisiinsa. Tavoitteena oli vierailla kaikissa pääkaupunkiseudun kallioihin rakennetuissa hiekka- ja suolasiiloissa. Lisäksi työssä seurattiin alusta loppuun saakka Olarin hiekkasiilon louhintaa.

## 1.4 Tutkimuksen rajaukset

Käyttökokemuksia on selvitetty siilokäyntien avulla, jotka ovat rajoittuneet pääkaupunkiseudulle. Olarin kalliosiilon tarkastelussa on keskitytty louhintaan ja luotu lyhyt katsaus siilosuunnitteluun.

## 2 Louhintatekniikka

Kalliosiiilojen päälouhintatekniikat ovat peränajo ja kuilunajo.

### 2.1 Peränajo

Peränajoksi kutsutaan tunnelin tekemistä. Peränajoon kuuluu useita erilaisia työvaiheita. Kaikkia työvaiheita ei välttämättä tarvitse suorittaa jokaisen katkon yhteydessä. Työvaiheitten poisjättäminen riippuu hyvin paljon kalliolaadusta, sillä lujitustyöt voidaan siirtää myöhemmäksi. Tuuletus lyhyessä tunnelissa ei välttämättä ole tarpeen, vaan lähes välittömästi täkkäyksen poiston jälkeen voidaan siirtyä tunneliin jatkamaan töitä.

#### Mittaus

Mittauksella varmistetaan, että louhinta suoritetaan vaadittujen toleranssien mukaisesti. Tarkat mittaukset tehdään takymetrilla.<sup>1</sup> Tähän kuuluvat suunnan varmistus, koron mittaus sekä poikkileikkauksen koon varmistaminen.

Louhintatoleranssit määritetään suunnitelmissa ja jaetaan normaaleihin louhinta-alueisiin (< 500 mm) sekä tarkkuuslouhinta-alueisiin (< 200 mm). Mitään yleistä lukuarvoa ei ole olemassa toleransseille. Toleranssit liikkuvat välillä 100 mm - 500 mm.

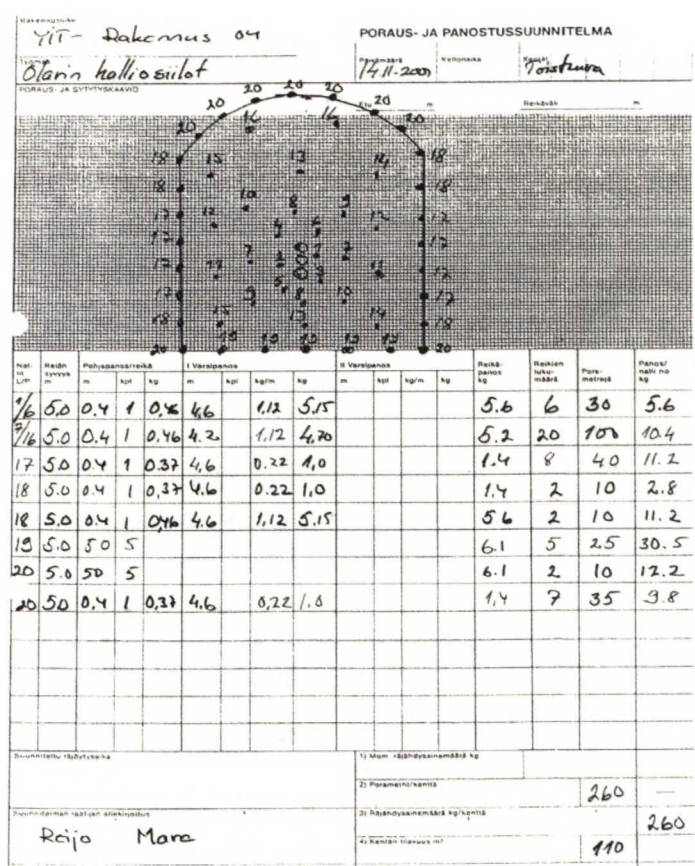
#### Poraus

Suomessa käytetään louhinnassa yksinomaan poraus ja panostusmenetelmää. Porauksessa reiät porataan kallioon sähköhydraulisella porausjumbolla. Porajumbo on 1-4-puominen, jolloin jopa 4 reikää porataan samanaikaisesti. Porareikien pituus vaihtelee kahden ja kuuden metrin välissä. Poraukseen tarvittava aika riippuu useista tekijöistä. Tunkeutumisnopeuteen vaikuttavat kiven ominaisuus, porakone, porateräksen laatu, poranterän läpimitta, poranterän muoto, syöttöpaine ja vedenpaine. Tehokkaassa porauksessa tunkeutumisnopeus on vähintään 2 m/min.



Porauksesta on oltava tarkat suunnitelmat, ja jokaisesta katkosta on oltava poraussuunnitelma (kuva 1). Porauksessa käytetään tietokoneohjattuja poraus-jumboja, jotka nopeuttavat porausta. Porakoneeseen syötetään porauskaavio, joka on luotu erillisellä ohjelmalla. Porakone navigoidaan paikalleen lasersäteen avulla, jolloin porakone tunnistaa täsmälleen sijaintinsa ja minne puomit tulee ohjata. Porarin tarvitsee puuttua vain ongelmatilanteissa koneen toimintaan. Dataporausta käytettäessä voidaan liikutella kaikkia puomeja yhtäaikaaisesti, jolloin ei tule taukoja liikuteltaessa vain yhtä puomia kerrallaan.

Porareiät porataan peränajossa siten, että pohja- ja seinäreiät (kuva 1, nro:t 17-20) tulevat 20 cm teoreettisen profiilin ulkopuolelle. Nämä reiät porataan myös



Kuva 1: Poraus- ja panostuskaavio

pistolle, eli ne suuntautuvat hieman tunnelin suunnasta ulospäin. Muut reiät porataan suoraan. Aukaisu porataan profiilin keskelle. Siihen kuuluvat avarrusreiät, jotka toimivat ensimmäisillä nallinumeroilla räjähtävien reikien



(kuva 1, nro:t 1-6) louheen purkautumistilana. Tämän jälkeen jatketaan räjäyttämistä siten, että edeltä profiilin keskeltä on räjäytetty reiät ennen apukaaren (kuva 1, nro:t 11-16) räjäyttämistä.

### **Panostus**

Panostuksella tarkoitetaan porattujen reikien täyttämistä räjäytysnallilla ja räjähdysaineella. Panostuksessa käytetään joko patruoitua tai patruoimatonta räjähdysainetta. Patrunointi tarkoittaa että räjähdysaine on pakattu putkipanokseksi, jossa on tunnettu määrä räjähdysainetta. Yleinen käytetty räjähdysaine suurimpaan osaan reikiä on Anfo. Anfo on ammoniumnitraattia, johon on sekoitettu polttoöljyä. Reunareikiin tulisi käyttää voimakkuudeltaan kevyempää räjähdysainetta, jotta kiven pinta ei rikkoutuisi ja tunneli olisi oikean muotoinen. Tämän lisäksi säästetään lujituskustannuksissa kun kallion pintaa ei rikota.

### **Täkkäys**

Räjäytystä varten joudutaan usein täkkäämään. Täkkäyksellä pyritään poistamaan sinkoutumisvaara. Siihen käytetään kumimattoja tai jykeviä hirsimattoja. Täkkäys voi tapahtua esimerkiksi tunnelin suun sulkemisella, jolloin matot ripustetaan roikkumaan kallioankkureitten varaan tunnelin eteen. Myös louhetta voidaan käyttää täkkäyksessä esimerkiksi tunnelin sulkemisessa.

### **Räjäytys**

Räjäytyksellä tarkoitetaan panostetun kentän laukaisemista. Räjäytystä ennen täytyy antaa varoitusäännet lähistöllä liikkujille. Vaara-alueet täytyy suojata vartiomiehin. Alue tutkitaan aina räjäytyskohtaisesti, jotta vahingoilta vältytään.<sup>2</sup>

Kuvassa 1 on esitetty poraus- ja panostuskaavio, jossa on esitetty reikien räjähdysainemäärä sekä sytytysjärjestys. Reikien räjähtäessä muodostuu koko ajan lisää purkautumistilaa. Räjähdykset tapahtuvat numerojärjestyksessä 25 - 500 millisekunnin välein. Perusperiaatteena on, että räjähdykset alkavat keskeltä, josta jatketaan kaariin, ja viimeisenä räjäytetään pohja.<sup>3</sup>

## **Tuuletus**

Räjäytyksessä syntyy räjäytyskaasuja, jotka täytyy tuulettaa pois ennen kuin tunneliin voidaan mennä työskentelemään. Tuuletusaika voi vaihdella minuuteista useisiin tunteihin. Tuuletuksessa käytetään yleensä puhaltimia. Pienissä tunneleissa puhalletaan raitista ilmaa tuuletusputkia myöten lähelle työskentelypaikkaa, josta pilaantunut ilma lähtee pois. Suuremmissa tunneliverkostoissa ilma puhalletaan erillisiä tuuletuskuiluja pitkin tunneliin. Näissä tunneleissa on omat poistopuhaltimet erillisissä poistoilmakuiluissa. Tunneleissa käytetään yleensä aksiaalipuhaltimia. Puhallin on ympyrälieriö, jonka sisällä on sähkömoottori liitettynä lapoihin. Lavat painavat ilman ilmastointiputkeen.<sup>4</sup>

## **Lastaus**

Lastaus on toiminto, jossa irtiräjäytetty kivi lastataan pois perästä. Kivi voidaan lastata välivarastoon lähistölle. Kun louhetta on kertynyt riittävästi, se murskataan ja toimitetaan eteenpäin. Kiveä voidaan käyttää myös erilaisiin täyttöihin työmailla. Lastaukseen voidaan käyttää erilaisia pyöräkuormaajia. Oikean lastausmatkan määrittämiseksi on olemassa taloudelliset mitoitusperusteet. Mitä pidempi matka sen enemmän aikaa kuluu lastaukseen. Tällöin kestää kauan saada perä tyhjäksi ja aloittaa poraus ja panostus uudestaan. Kustannukset kasvavat jos porakone ja panostajat joutuvat odottamaan. Kuormauskustannukset kasvavat matkan kasvaessa. On löydettävä optimimatka, jotta kannattaa tehdä uusi kuormauspaikka.<sup>5</sup>

## **Rusnaus**

Rusnauksessa poistetaan katosta komut eli löyhässä olevat kivet. Ne hakataan tai väännetään komukangen avulla irti. Rusnaus voi olla myös koneellista. Koneellinen rusnaus ei ole yhtä tarkkaa kuin käsintehty, sillä silloin kone voi irrottaa kiviä jotka ovat olleet kiinni. Se on turvallisempaa, koska käyttäjä on riittävän matkan päässä vaara-alueesta koneessa olevan komukaton alla. Rusnaus voi tulla kyseeseen myös ennen lastausta. Tällöin rusnaus suoritetaan irtiräjäytetyn louhekasen päältä

## **Lujitus**

Lujitus saadaan aikaan pulttauksella ja ruiskubetonoinnilla.

- **Pulttaus**

Pulttaus on kallion tukemista erilaisin kalliopultein. Pulttaus jakautuu kahteen eri tyyppiin. On olemassa aktiivisia ja passiivisia pulttityyppejä. Aktiivinen vaikuttaa heti ja passiivinen vasta jonkin ajan päästä. Aktiivinen pultti esijännitetään reikään joten sen tukemisvaikutus on välitön. Passiivinen pultti vaatii toimiakseen sideaineen jähmettymisen. Passiivinen esijännittämätön aluslevyllinen juottamaton ankkuripultti vaatii kallion muodonmuutoksen pultin suuntaan ollakseen toimiva.

Pulttauksessa porataan reikä kallioon ja siihen työnnetään pultti sisään juotosaineen jälkeen. Käyttää voidaan myös juottamattomia pultteja jolloin pultit ankkuroidaan reiän pohjalle. Tällöin käytetään reiän ulkopuolista aluslevyä.

Yleisimpänä pulttina Suomessa käytetään harjaterästä, joka juotetaan reikään. Juotosaineena käytetään yleensä sementtiä. Vesi-sementtisuhteen suositellaan olevan 0.3. Tämä tarkoittaa, että vettä on 30 prosenttia sementin määrästä. Sideaineeksi sekoitetaan juotosmassaan hiekkaa. Vaihtoehtoisesti hiekkasementin sijaan voidaan käyttää hartsia.<sup>6</sup>

- **Ruiskubetonointi**

Ruiskubetonoinnissa ruiskutetaan betoni kalliopintaan estämään kivien putoaminen. Ruiskubetonoinnissa pestään ensin pohja, jonka jälkeen betonimassaa ruiskutetaan kallionpintaan.<sup>7</sup>

### *1. Kuivaruiskutus*

Kuivaruiskutuksessa käytetään nimen mukaisesti perusaineena kuivana toimitettua betonia. Betoni kaadetaan kaatotaskuun, josta se syötetään betonin syöttölaitteeseen. Syöttölaitteesta betoni ohjataan putkeen, johon on yhdistetty myös paineilma sekä vesi. Ruiskuttaja ohjaa suutinta, joka on yhdistetty betonin



syöttöputkeen. Ruiskubetonointijälki on kuivaruiskutuksessa pääsääntöisesti erittäin hyvä. Tehot eivät ole yleensä yhtä hyvät kuin koneellisessa märkäruiskutuksessa. Kuivaruiskutuksen alle voidaan asentaa teräsverkkoja vahvistamaan lujitusvaikutusta. Tunneliin asennettavat salaojat tulevat joko ruiskutuksen alle tai ensimmäisen ruiskutuskerroksen päälle, jolloin nähdään parhaiten minne vesi ohjautuu. Kuivaruiskutuksen teho on maksimissaan 20 m<sup>3</sup>/vuoro.

## *2. Märkäruiskutus*

Märkäruiskutuksessa betoni toimitetaan veteen sekoitettuna valmiina massana. Betoni toimitetaan ruiskubetonilaitteistoille, jotka ovat ruiskubetonirobotteja. Laitteissa käytetään puomia, johon on kiinnitetty ruiskubetonisuutin. Suutinta käytetään kauko-ohjatusti tai koneessa olevasta operointipaneelistä käsin. Massa syötetään suuttimeen massansyöttöletkua pitkin. Suuttimeen syötetään myös kiihdytinainetta. Kiihdytinainetta syötetään paineen kanssa, jotta ruiskubetonimassa pysyisi katossa. On olemassa superkiihdytinaineita, joiden valmistajat lupaavat yli puolen metrin paksuisen massan tarttumisen kerralla kalliopintaan. Usein kuitenkin ruiskubetonoidaan yhdellä kerralla muutamia senttejä. Märkäruiskutuksessa voidaan käyttää myös sekä verkkoja että kalliositeitä. Kalliositeet yhdistetään kallionmyötäisesti säännöllisesti aseteltujen pulttien päihin. Salaojat sijoitetaan samoin kuin kuivaruiskutuksessa. Verkotuksen sijaan voidaan käyttää betoniin sekoitettuja kuituja. Kuidut ovat n. 30-40 mm pitkiä ja halkaisijaltaan n. 1.5-2 mm. Märkäruiskutuksessa päästään parhaimmillaan n. 60 m<sup>3</sup>/vuoro tehoihin. Käytännössä tehot jäävät kuitenkin puoleen tästä.

## **Injektointi**

Kalliotiloissa voidaan käyttää injektointia kallion tiivistämiseen tarvittaessa kuivia olosuhteita. Injektoinnissa kallioon porataan reikiä joihin sijoitetaan injektointimansetit. Mansettien läpi pumpataan injektointilaastia. Manseteissa on hana, joka suljetaan massan poisvalumisen estämiseksi. Korkeimmillaan vesi-sementtisuhde on 2 ja pienimmillään 0,4. Injektoinnissa kallion rakoihin menee laastia, joka saa



aikaan vedeneristyksen. Injektoinnissa käytetään laastin raaka-aineena mikro-sementtiä.<sup>8</sup>

## 2.2 Kuilunajo

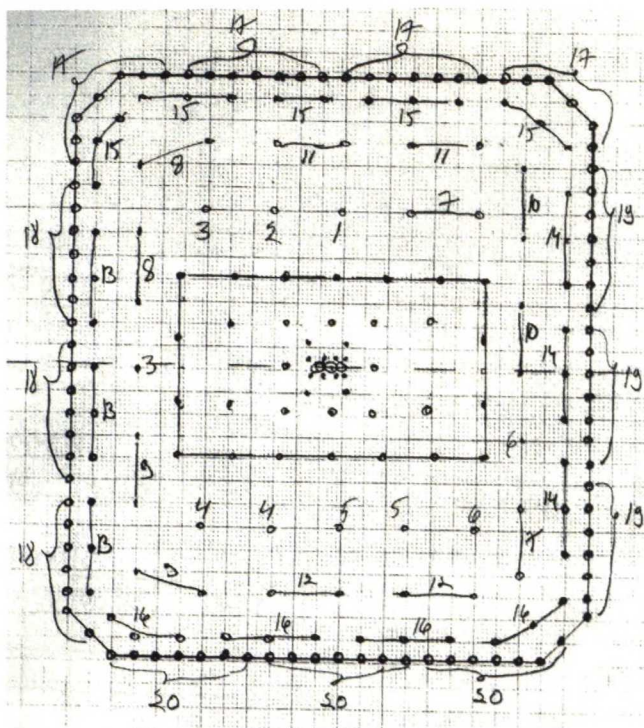
### Mittaus

Mittauksella varmistetaan kuilun täsmälliset rajat. Kuilu mitataan mittalaitteiden avulla maastoon, jolloin kuilu saadaan täsmälleen haluttuun paikkaan. Maastoon mitataan kiintopisteet joista voidaan tarkistaa tarvittaessa kuilun tarkka paikka.

### Poraus

Porauksessa sähköhydraulisella porausvaunulla porataan reiät kallioon poraus-kaavion mukaisesti (kuva 2). Reiät panostetaan kalliolaatuun ja kuiluun sopivalla räjähdysaineella. Porauksessa noudatetaan tarkkuusvaatimuksia jotta saadaan juuri halutun kokoinen ja muotoinen kuilu. Vaatimukset jakautuvat normaali- ja tarkkuuslouhinta-alueisiin kuten peränajossakin. Kuilua porattaessa ympäristölle aiheutuu meluhaittaa, joten asutuilla alueilla suunnittelussa täytyy ottaa huomioon sallitut porausajat, jotka ovat yleensä kello 8 ja 18 välillä.

Porauksen suuntauksen täytyy olla kuiluissa erityisen huolellista kuilujen pituuden vuoksi, koska huonon suuntauksen vuoksi virhe reiän pohjalla voi muodostua erittäin suureksi. Reunareivät porataan työn tarkkuuden takia usein tiheällä reikävälillä. Reikäväli kuvan 1 esimerkissä on 60 cm. Suositeltavaa on käyttää kuilun yläosassa tiheämpää reikäväliä. Kuiluissa porataan avarrusreikiä keskelle 2-4 kappaletta. Reikien läpimitta kuiluissa on 56 - 115 mm.



Kuva 2: Kuilun poraus- ja panostuskaavio

### Panostus

Panostuksessa käytetään joko patruonoitua tai patruunoimatonta räjähdysainetta. Patruunoidut räjähdysaineet ovat yleisiä, koska asutulla alueella ei lain mukaan patruunoimatonta räjähdysainetta saa käyttää ylipanostuksen välttämiseksi. Alue luetaan asutuksi, jos asutusta on alle 200 m:n päässä räjäytyskentästä.<sup>9</sup> Reunareikiin käytetään kevyempää räjähdysainetta, ettei kiven pinta rikkoutuisi. Lujituskustannuksissa säästetään jos kallion pintaa ei rikota. Kuilujen panostus on vaativaa ja aikaa vievää työtä. Panostamista suoritetaan nopeuden takia mahdollisimman pitkään alakautta. Yläpuolelta panostaminen aloitetaan sen ollessa alakautta mahdotonta tai vaarallista. Avarrusreikiä ei panosteta.

Yleensä kuiluihin räjäytetään ensin nousu eli pieni pystysuora kuilu. Nousu panostetaan avarrusreikien viereltä (kuva 2, keskellä kuvaa). Kun nousu on saatu valmiiksi, aletaan kuilua levittää reunoille (kuva 2, keskellä oleva neliö), jonka jälkeen panostetaan levitys- ja reunareivät (kuva 2). Koska porausvirhettä ei voida välttää pitkissä rei'issä, on ensimmäiset katkot pidettävä suhteellisen lyhyinä. Mitä ylemmäksi räjäytykset etenevät sitä pitempiä katkot voivat olla. Tavallisesti katkojen pituus on ollut 4-7 m, mutta 10 m:n katkojakin on käytetty.<sup>10</sup>

## **Täkkäys**

Kuiluja täkättäessä asetetaan täkkäysmatot räjäytyskentän päälle. Kuiluja räjäytettäessä täkkäys on tärkeä toimenpide, sillä liian vähäinen täkkäys aiheuttaa mattojen nousemisen ja tällöin suuren kiven sinkoutumisvaaran.

## **Räjäytys**

Räjäytyskentän tultua panostetuksi suoritetaan räjäytys. Kuilun alla oleva tunneli täytyy varmistaa. Yleensä tunneli tyhjennetään, ja sen suulle asetetaan vartiointi. Räjäytystä varten täytyy antaa vähintään minuutin mittainen äänimerkki, joka kiihtyy loppua kohti. Kun räjäytys on suoritettu annetaan yhtenäinen "vaara ohi" äänimerkki.

## **Tuuletus**

Räjäytyksessä syntyy räjäytyskaasuja, jotka täytyy tuulettaa pois ennen kuin alla olevaan tunneliin voidaan mennä työskentelemään. Tuuletus toimii kuilun alla olevan perän tuuletuksen avulla. Kun kuiluun on tehty nousu, parantuu tuuletus koko tunnelissa, sillä ilma alkaa tulla noususta läpi.

## **Lastaus**

Lastaus on irtiräjäytetyn louheen lastausta pois kuiluperästä. Lastaus toimii samalla periaatteella kuin on esitetty luvussa 3.1 Lastausta ei kuitenkaan tarvitse suorittaa joka räjäytyksen jälkeen jos panostetaan yläkautta. Louheella on tilaa kasautua kuilun alle.

## **Rusnaus**

Rusnaus suoritetaan vasta kun koko kuilun louhinta on suoritettu. Tällöin käytetään nosturin varassa roikkuvaa koria. Näin saadaan käytyä läpi koko kuilu ja rusnattua ylimääräiset irtokivet pois. Rusnaus täytyy suorittaa aina kuilun valmistumisen jälkeen, ennen kuin voidaan alkaa tehdä lujitustöitä.

## **Lujitus**

Lujitus kuiluissa toimii samoin kuin on kerrottu luvussa 3.1. Erona tunnelilujitukseen on poraus. Kuiluissa joudutaan usein tyytymään käsikäyttöisiin porauslaitteisiin. Ruiskubetonointi joudutaan suorittamaan käsin tehtävänä kuiva-

ruiskutuksena. On myös olemassa kuilunajohissejä, joissa on märkäruiskutusrobotti ja sähköhydrauliset porauslaitteet.

### **Injektointi**

Injektointi toimii kuiluissa samoin kuin on esitetty kohdassa 3.1. Kuiluissa injektoidaan joko alapuolisesta tunnelista porattuihin reikiin tai maan päältä porattuihin reikiin. Injektointitarpeen määrää kalliotilan suunnittelija geologisen tiedon perusteella. Tarvittavaa geologista tietoa ovat vesimenekkikokeet, pohjaveden korkeus, kallion rakoilu, rakojen täytteet ja rakojen avautuneisuus.



### 3 Kalliotilat varastoina

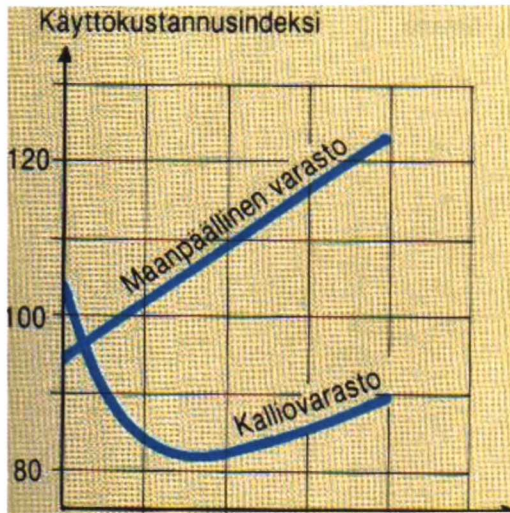
Suomessa kallioperä antaa hyvät mahdollisuudet sijoittaa tiloja maan alle. Näin on tehty erityisesti kaupungeissa koska näin saadaan ympäristöön huonosti sopivat rakennukset piiloon maan alle.<sup>11</sup>

Kallioon on sijoitettu erilaisia arkistoja, pysäköintitiloja, varastoja ja muita jokapäiväiseen elämään liittyviä tiloja.

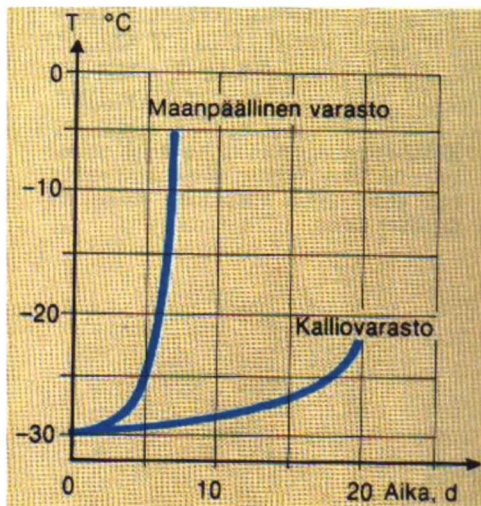
#### **Pakkas- ja kylmävarastot**

Kallioon rakennettuna pakkas- ja kylmävarastot ovat kalliorakentamisen edullisimpia tuotteita. Kallioon rakennettu varasto tarjoaa taloudellisesti kilpailukykyisen vaihtoehdon maanpäälliseen verrattuna. Pakkasvarasto kannattaa sijoittaa kallion sisään sillä sen rakennus- ja käyttökustannukset ovat edulliset. Kallio itsessään toimii eristemateriaalina, joten tiloihin ei tarvita erillistä eristystä. Käyttökustannukset jäävät hyvinkin alhaisiksi (kuvat 3 ja 4).

Käyttöhäiriötilanteessa kallioon rakennettu pakkasvarasto säilyttää lämpötilansa hyvin verrattuna maanpäällä sijaitsevaan. Taloudellisuus kylmä- ja pakkasvarastoissa perustuu kallion noin 8 asteen vakiolämpötilaan alle sadan metrin syvyydessä maanpinnasta. Kalliossa sijaitsevan pakkasvaraston huoltotarve on vähäinen.<sup>11</sup>

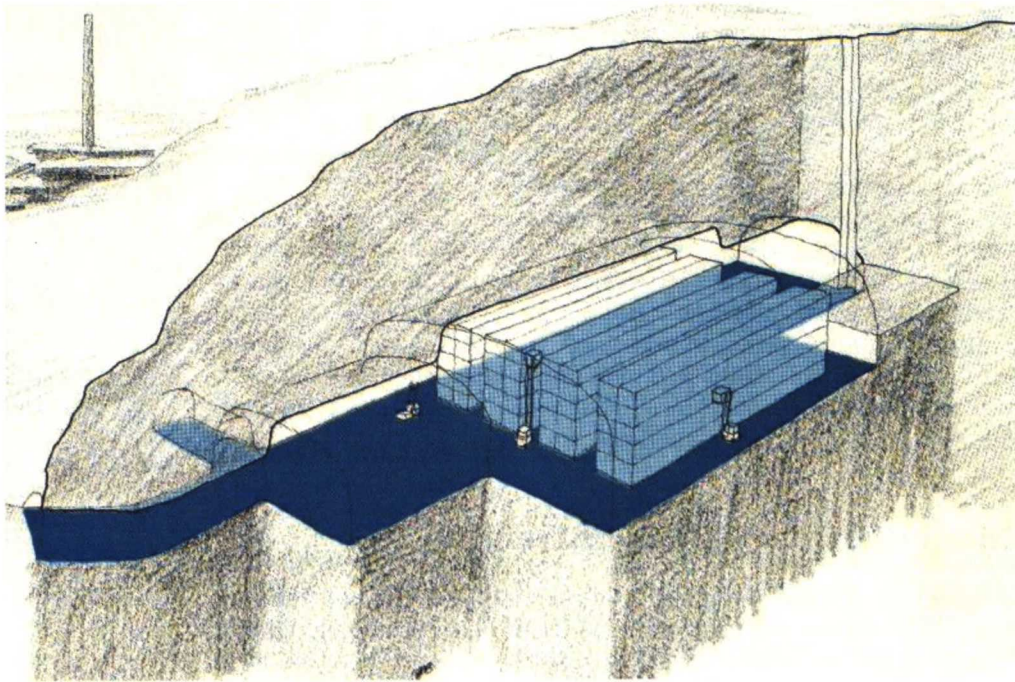


**Kuva 3: Pakkasvarastojen suhteelliset kustannukset**



**Kuva 4: Pakkasvaraston lämpötilan nousu käyttöhäiriön jälkeen**

Kallioon rakennettujen pakkas- ja kylmävarastojen koko vaihtelee yleensä noin 5000 ktdm<sup>3</sup> ja 50 000 ktdm<sup>3</sup> välillä. Varastojen muoto on samanlainen kuin trukkivarastoissa (kuva 5).



**Kuva 5: Trukkivarasto kalliossa**

### **Trukkivarastot**

Trukkivarastot on sijoitettu tehokkaisiin ja taloudellisiin paikkoihin. Usein sijaintipaikkana on rakennuttajan tontin alapuolinen tila, esimerkiksi kaupan keskusvaraston alapuolinen kallio. Tonttitilaa säästyy ja tavara on hyvin vartioitavissa. Muutama sisäänkäynti mahdollistaa tehokkaasti riskien minimoimisen. Ilmanlaatu trukkivarastossa pysyy tasalaatuisena. Trukkivarastoille ominaista ovat pienet kalustokustannukset ja suuri lattiapinta-ala.<sup>11</sup>

Trukkivarastojen koko vaihtelee 10 000 ktdm<sup>3</sup> ja 100 000 ktdm<sup>3</sup> välillä.

### **Öljy-, hiili- ja kaasuvastot**

Suurimmat kallioon tehdyt varastot ovat öljysäiliöitä. Suomessa niihin mahtuu miljoonia kuutiometrejä öljyä. Hyvä varastoitavuus vaatii pohjaveden paineen, jotta öljy tai kaasu pysyy säiliössä. Varastossa vallitseva paine on pienempi kuin pohjaveden paine, minkä vuoksi varastoitava aine ei pääse poistumaan, koska pohjaveden virtaussuunta on aina kalliotilaan päin. Varastointisyvyys on öljystä ja kaasusta riippuen 90-150 m. Vuotovedet pumpataan säiliöstä pois ja puhdistetaan. Myös hiiltä pystyy varastoimaan kallion sisällä. Esimerkiksi Helsingissä on



rakenteilla Salmisaaren voimalan hiilisiilot. Näitten yhteistilavuudeksi tunneleineen tulee yhteensä yli 530 000 ktdm<sup>3</sup>.<sup>11, 12</sup>

### **Hiekka- ja suolasiilot**

Hiekkaa on varastoitu siiloihin kymmeniä vuosia tienpidon tarpeisiin liukkauden torjunnassa. Siiloissa saadaan oikeilla suunnitteluratkaisuilla kuivat ja stabiilit olosuhteet. Ympäristö säästyy suurilta maisemaa pilaavilta maanpäällisiltä siiloilta.<sup>11</sup> Siilojen sijaitessa alueellisesti edullisesti, saadaan tehokas hyvälaatuinen hiekoitus sekä suolaus nopeasti käyntiin kelin sitä vaatiessa.

### **Ongelmajätteet**

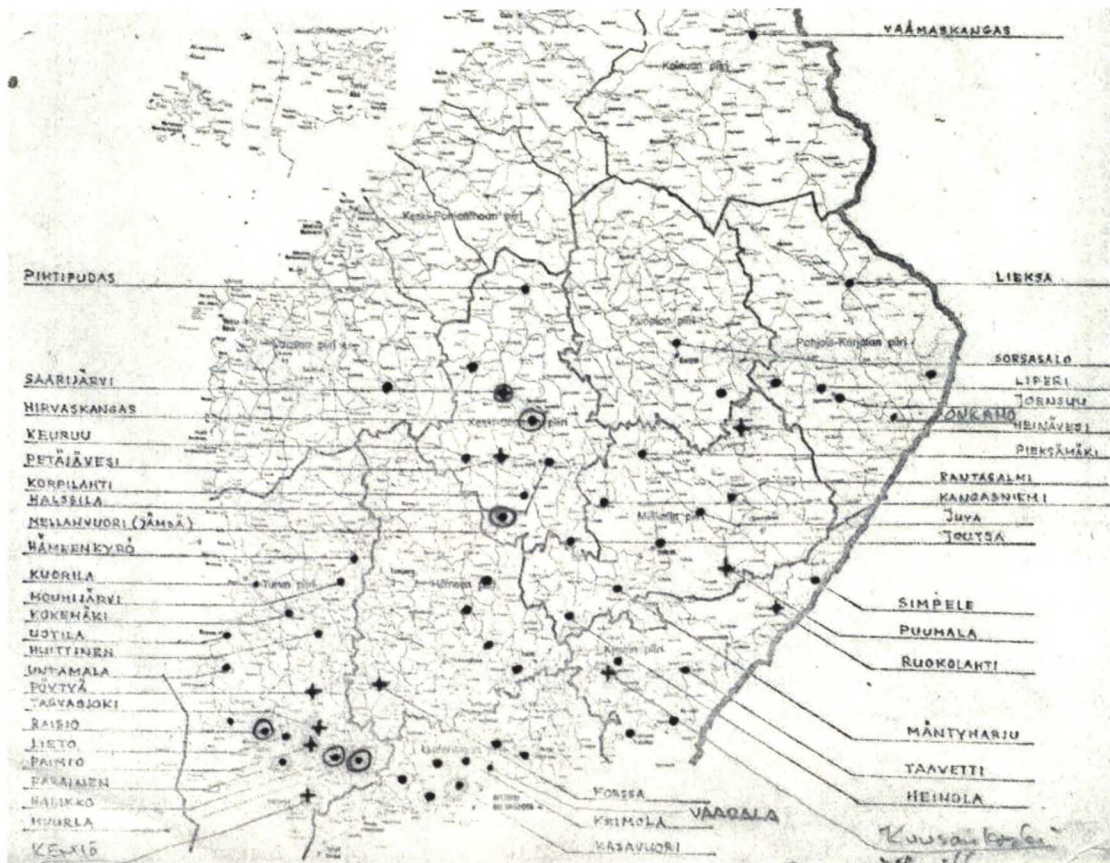
Ongelmajätevarastoista ydinjätteet ovat puhuttaneet jo pitkään. Ne on parasta sijoittaa stabiiliin peruskallioon, jossa kaikki ympäristöriskit pystytään pitämään kurissa. Ydinjätteet sijoitetaan peruskallioon siten, että 300-700 metrin syvyyteen louhitaan kuilu, josta lähdetään ajamaan perää. Perästä lähtee sivuperiä, joihin tulee säännöllisin välein 2 metrin läpimittaisia ja 5 metrin syvyisiä reikiä. Käytetty ydinpolttoaine sijoitetaan reikiin. Nämä reiät täytetään lopuksi kovettuvalla eristysaineella. Loppusijoituspaikkaan on suunniteltu tuhansia reikiä<sup>13</sup>



## 4 Kalliosiilot

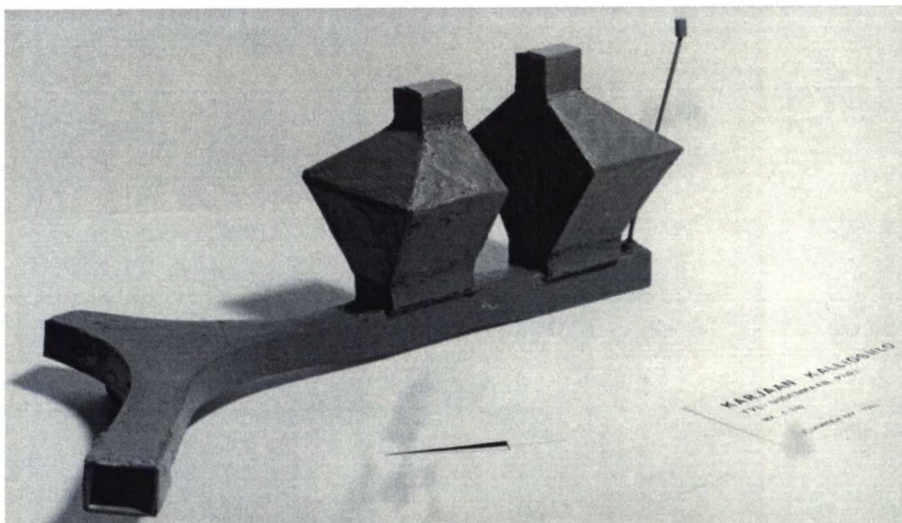
### 4.1 Historiaa

Suomessa on rakennettu hiekkasiiloja jo 50-luvulta lähtien. Ennen Suomea siiloja on rakennettu Norjassa, josta tekniikka saapui Suomeen. Suomessa on rakennettu jo likimain sata kalliosiiloa, joista suurin osa toimii hiekan varastoisissa.<sup>14</sup>



Kuva 6: Hiekkasiiloja Suomessa 80-luvulla<sup>14</sup>

Suolasiiloja alettiin rakentaa Suomeen 80-luvulla, ja niistä saadut kokemukset ovat olleet hyviä. Suomessa rakennettiin ensimmäisenä pullonmuotoisia siiloja (kuva 7). Tällaisten siilojen poraus oli vaikeaa, ja lujitus tuotti vaikeuksia. Myöskään ei ollut turvallista työskennellä lujittamattoman kalliokaton alla.<sup>15</sup>



**Kuva 7: Pullonmuotoisen siilon pienoismalli tunneleineen ja ilmanvaihtoreikineen**

Vedenpoisto tehtiin ennen tunnelin suuntaista kanaalia pitkin.

Vielä 80-luvulla rakennettiin siilon alalaatalle kantavat betonipilarit (kuva 8), jotka on nykyisin korvattu kallioon tuetulla betonilaatalla.



**Kuva 8: Betonipilarit siilon alapuolisena kantavana rakenteena**

## **4.2 Hankesuunnitelma**

Hankesuunnittelussa on tärkeää löytää siilolle hyvä alueellinen sijainti. Yleensä kalliolaatu rajoittaa vain harvoin siilojen sijoittamista Suomen kallioperässä.<sup>16</sup> Hankesuunnitelmassa on tärkeää selvittää käyttäjän tarpeet. Tällöin selvitetään



siilon koko ja siiloon tuleva materiaali. Alueellinen suunnittelu on tärkeää, jotta siilo tulisi mahdollisimman edulliseksi käyttää. Suunnitteluun sisältyy mahdollisten siilopaikkojen vertailu toisiinsa ominaisuuksien ja liikenteellisten yhteyksien kannalta. Suunnitteluun kuuluvat geologisten tietojen vertailu ja paikkojen sopivuuden arviointi.<sup>17</sup> Tärkeää on selvittää, missä saadaan helposti tarpeeksi suuri korkeusero, ja mihin saadaan luontevasti ajettua perä kallion sisään. Massiivista maankaivuuta ja avolouhintatyötä tulisi välttää, eikä sitä yleensä suoriteta enempää kuin 3000 ktdm<sup>3</sup>. Liikenneyhteydet pitää olla siten järjestetty, että jokaiseen hiekoitettavaan/suolattavaan kohteeseen päästään vaivattomasti. Hankesuunnitelmassa on tultava selväksi hankkeen aikataulu. Hankesuunnitelmaan liitetään alustava kustannusarvio.

### 4.3 Tutkimukset

Tutkimusmenetelminä käytetään yleensä rakennusgeologista kartoitusta sekä maapeitteen paksuuden varmistavaa porakonekairausta.<sup>18</sup> Kalliolaatu on hyvä varmistaa pitkällä tutkimusrei'illä. Vesimenekkikokeilla voidaan selvittää kallion vedenjohtavuus. Tutkimuksia tulee tehdä riittävästi, jotta saadaan tarvittavaa geologista tietoa suunnittelun läpiviemiseksi.<sup>19</sup>

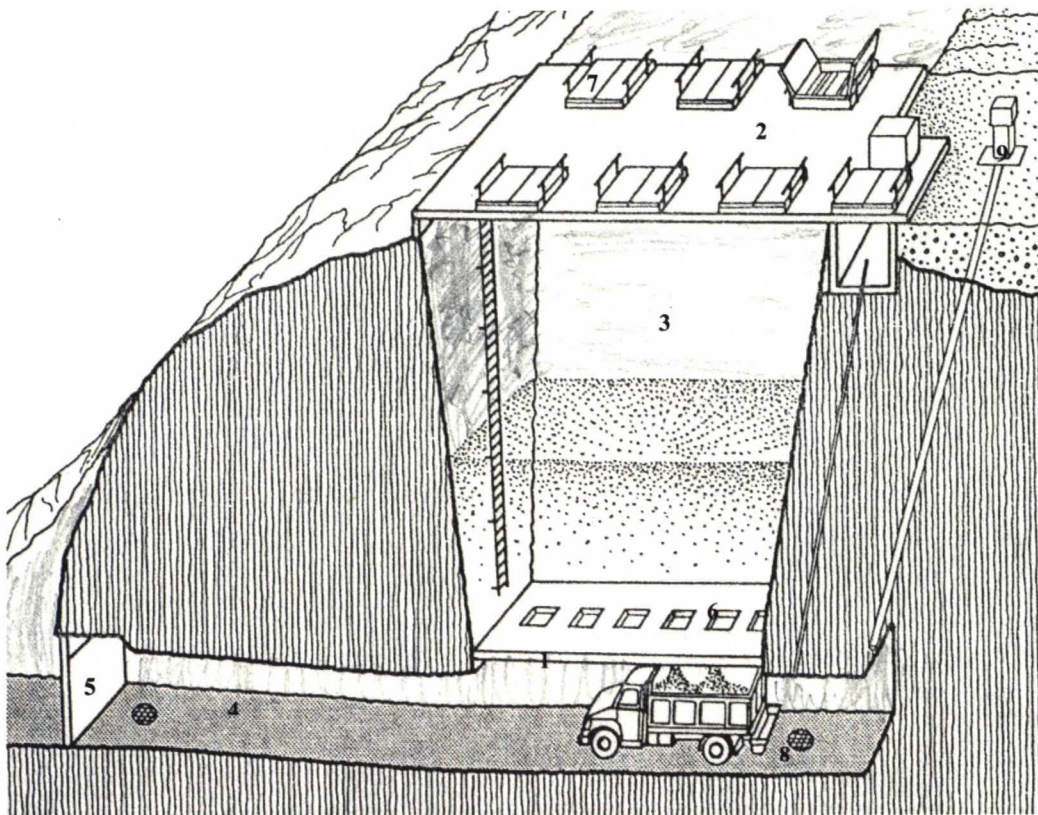
### 4.4 Suunnittelu

Huolellinen suunnittelu poistaa käytönaikaisia ongelmia, ja säästää rakennuskustannuksia. Liikenneyhteyksiin on kiinnitettävä huomiota. Siilon täyttö- että tyhjennysluukuille on tehtävä siilon käytön mukaiset jonotustilat. Täyttöluukuille tarvitaan myös riittävän kokoinen kasetointipaikka. Tyhjennysluukut ovat hyvä valita mekaanisiksi toimintavarmuuden vuoksi. Suunnittelussa on myös huomioitava vedeneristys, mikä on tärkeää erityisesti suolasiilossa. Esi-injektointia suositellaan kuivana pidettäviin tiloihin, jos vesimenekkikokeet ja kallion rakoilu antavat viitteitä vedenjohtavuudesta.<sup>20</sup>



## Rakenteet

Nykyään suunnitellaan alaspäin kapenevia siiloja (kuva 9).



Kuva 9: Nykymuotoinen alaspäin kapeneva siilo<sup>13</sup>

Siiloon tulevia rakenteita ja järjestelmiä ovat alalaatta (1), ylälaatta (2), siilo (3), ajotunneli (4), ovet (5), tyhjennysluukut (6), täyttöluukut (7), vedenpoistojärjestelmät (8) sekä ilmastointi (9).

Alalaatan kantavana rakenteena toimivat kallioseinät, jolloin säästetään suurissa valukustannuksissa. Erona vanhanaikaisiin pullonmuotoisiin siiloihin nyky suunnittelun siilot voidaan rakentaa yhä matalammiksi, koska suunnitteluratkaisu luo ison avaran tilan, eikä tilavuus tule enää korkeuden ansiosta.

### Kuivatusjärjestelyt ja vedenpoisto

Siiloon toimitettavan materiaalin tulee olla kuivaa. Täyttöluukut tulisi tiivistää mahdollisimman hyvin. Ympäristön tiivistäminen auttaa siilon kuivana pitämisessä. Kallion tiivistäminen on siilokokonaisuudessa tärkeää. Vesivuotomäärät tulee pitää alle 3 l/min 100 metrin matkalla.

Alalaatta tulee kallistaa ja varustaa salaojilla. Siilojen salaojitus kuivattaa siiloa. Siilot on salaojitettava säilytettävän materiaalin tarpeen mukaan. Suolasiiloihin suositellaan järjestelmällistä salaojitusta, ja hiekkasiiloihin vesivuotokohtiin. Ajotunnelin osalta vuotokohdat tulee salaojittaa.<sup>21</sup>

Vedenpoisto suoritettiin ennen painovoimaisesti, mutta nykyään siitä pitävät huolen pumpput. Vedenpoisto tehdään seinään poratun suureiän kautta. Vesien poisto on suunniteltava viemäriin tai maastoon niin, että ei tuoteta ongelmia ympäristölle. Tämän vuoksi vedenpuhdistuksesta on pidettävä huolta. Samoin on huolehdittava öljynerotuksesta. Sadekautena vettä liikkuu kalliossa enemmän kuin tavallisesti, ja tämä täytyy ottaa huomioon suunniteltaessa vedenpoistojärjestelmää. Pumppujärjestelmä kannattaa varustaa porakaivokäynnistimellä.

### **Ilmastointi**

Ilmastointi toimii nykyaikaisessa siilokokonaisuudessa 300 mm reikää pitkin. Reikä on sijoitettu usein tunnelin perälle, jossa sen toimivuus on parhaimmillaan. (kuva 9) Tuuletusreikä on eristettävä kunnolla, sillä jos ulkoilma tulee kylmänä sitä pitkin, saattaa reikään muodostua jäätä, ja se voi tukkeutua. Reiän yläosaan sijoitetaan puhallin, jota käytetään tunnelissa olevan tarpeen mukaan. Automaatiikka, joka käynnistää puhaltimen aina ajoneuvon ollessa tunnelissa, on hyvä ratkaisu.



## Täyttäminen

Siilojen täyttäminen pyritään tekemään kesällä, jolloin siiloon toimitettava materiaali on pääsääntöisesti kuivaa (kuva 10). On todettu, että vaikka hiekka olisi



**Kuva 10: Siilon täyttämistä hiekoitussepelillä. Vaivattomasti nostamalla avattava luukku.**

jäässä, se sulaa oikein suunnitellussa ja eristetyssä siilossa.<sup>22</sup> Lähellä maan pintaa oleva kallion lämpötila Suomessa pysyy vakiona noin 8 °C. Monesti hiekkasiilojen täyttämisen yhteydessä lisätään myös suolaa hiekan sekaan, jotta mahdolliselta jäätymiseltä välttyttäisiin. Suolaa lisätään noin prosentin verran.

Täyttäminen vaatii tarpeeksi suuret kasetointipaikat täysperävaunuille. Tämän lisäksi täyttöluukuille johtavan tien tulee olla niin järjestetty, että täyttöajoneuvojen ei tarvitse väistää toisiaan peruuttamalla. Täyttöluukuille peruuttaminen tulee olla vaivatonta.



## **Täyttöluukut**

Täyttöluukkuja on erilaisia, ja niiden säännöllinen huolto on tärkeää. Täyttöoperaatiot vaikeutuvat huomattavasti, jos luukut eivät aukea helposti. Luukut ovat yleensä lukitut normaalein riippulukoin sekä varustettu turvaritilällä.

Yleisimmin käytetty on luukku, joka avautuu vaivattomasti nostamalla (kuva 10).

Vastapainollisessa luukussa on hyvänä puolena, että sitä pystyy käyttämään yksi mies. Tärkeää on muistaa pitää vastapainon kiinnitys kunnossa, jotta vältetään tapaturmilta. (kuva 11)



**Kuva 11: Vastapainollinen luukku**

Rullautuva luukku (kuva 12) on kevyt käyttää. Rullautuva luukku kulkee kiskoja myöten pois luukun päältä. Kiskot täytyy puhdistaa säännöllisesti, sekä lisäksi tulee rasvata luukun liikkuvat osat.



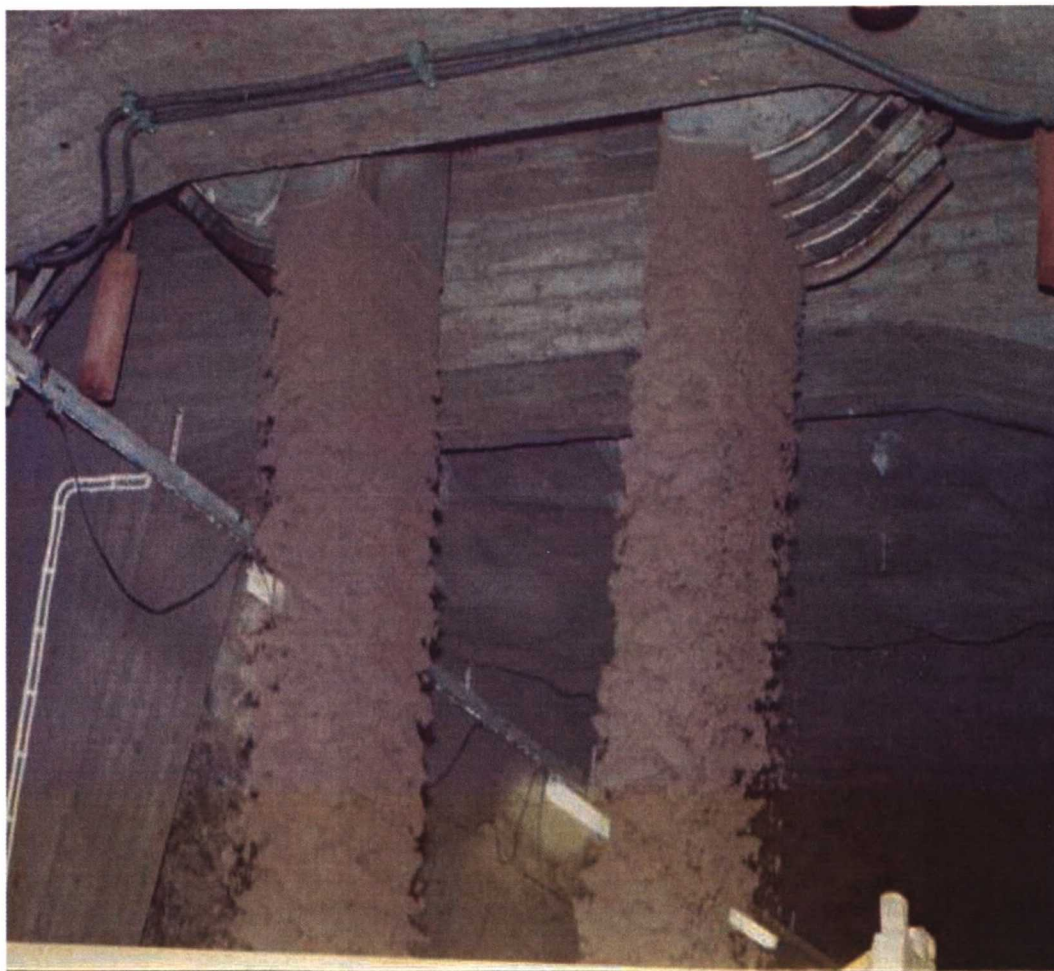
**Kuva 12: Rullautuva luukku**

Painoluukku painaa turvallisuussyistä niin paljon, että sitä ei jaksakaan miesvoimin nostaa. Täytön yhteydessä joudutaan käyttämään konetta apuna.



### **Tyhjennysluukut**

Siilon alalaataan asennetaan kuumasinkitystä teräksestä valmistetut tyhjennysluukut (kuva 13). Suolasiiloissa tyhjennysluukkuihin käytetään haponkestävää terästä. Tyhjennysluukut kannattaa rakentaa manuaalitoimiseksi, käyttövarmuuden vuoksi. Sähkötoimisissa luukuissa saattaa esiintyä vikoja tunneleissa esiintyvän kosteuden vuoksi.<sup>23</sup>



**Kuva 13: Tyhjennysluukut toiminnassa**

### **Siilotykit**

Siiloon voidaan asentaa paineilmakäyttöiset siilotykit varmistamaan materiaalin tasainen virta, koska hiekka yleensä holvaantuu siilon seinämille, eikä valu siilon pohjalle. Varsinkin suolalla on taipumuksena kokkaroitua. Siilotykit ovat paineilmatykkejä, jotka asennetaan siilon sisäpuolelle tyhjennysluukkujen



yläpuolelle. Siilotykit toimivat erillisellä ilmakompressorilla, josta johdetaan putki siilotykkiin.

### **Suolaliuosallas**

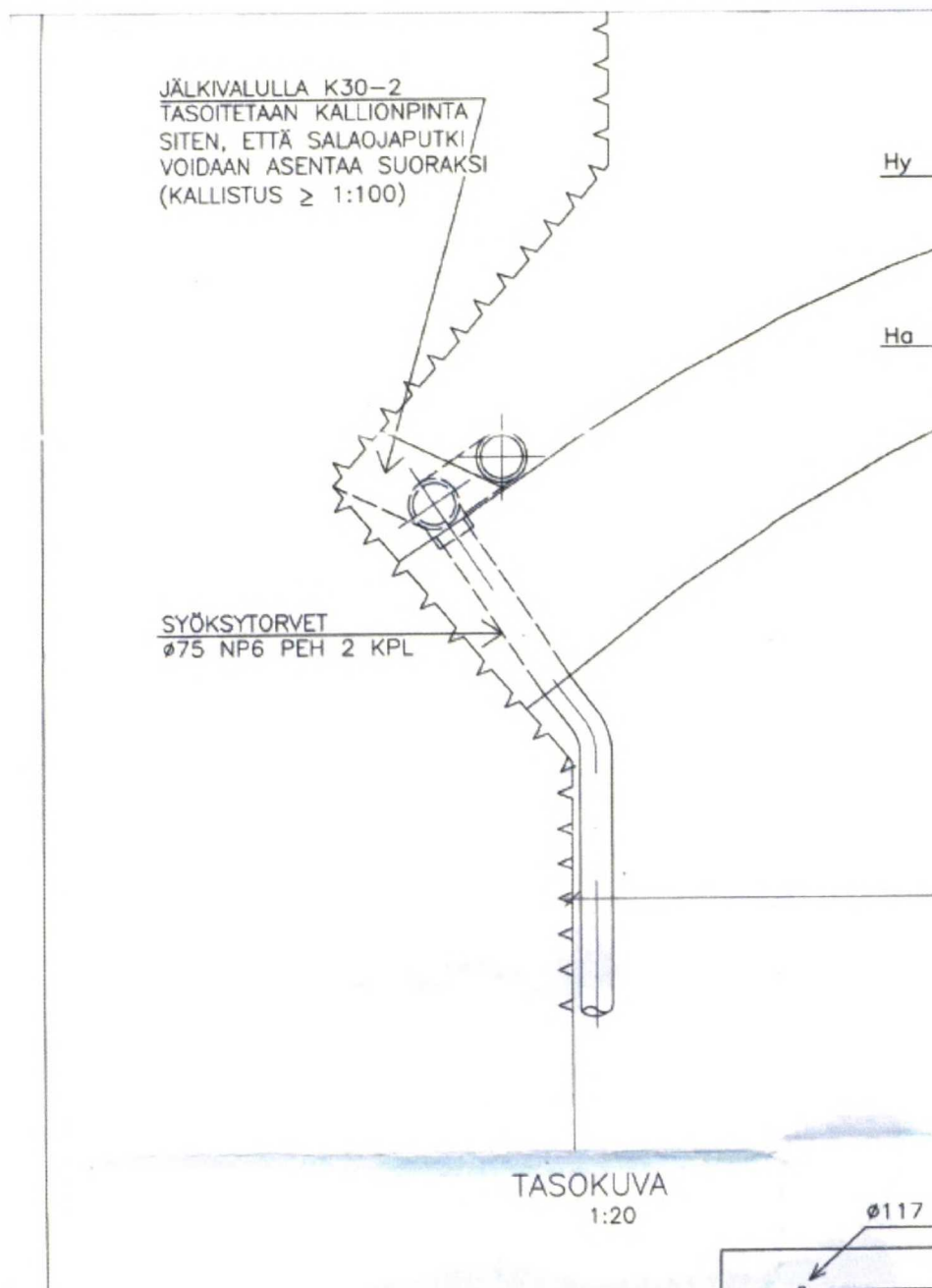
Hiekkasiiloon rakennetaan usein suolaliuoksen valmistusyksikkö. Yhtenä vaihtoehtona voidaan rakentaa suolaliuosallas. Suolaliuosallas tehdään haponkestävästä teräksestä. Altaaseen tulee kierrätyspumppu, joka pitää suolaliuoksen tasalaatuisena. Pumpun täytyy olla suolaliuoksen käsittelyyn sopiva. Altaan yhteyteen on tultava myös ilmakompressor, joka asennetaan nopeuttamaan suolan liukenevista sekä estämään suolan holvaantuminen putkistoon. Altaaseen liitetään myös toinen pumppu jolla suolaliuos pumpataan levityslaitteeseen.<sup>24</sup>

### **Yläkansi**

Yläkannen tarkoituksena on pitää siilo kuivana. Erilaisia ratkaisuita on useita. Yhtenä ratkaisuna voidaan käyttää mittatilauksena saatavia TT-laattoja. Ne asennetaan siilon yläpuolelle valettavan betonikauluksen päälle. Betonikauluksen ja kallion välinen kontakti on saatava ehdottomasti vedenpitäväksi. Betonikaulusta valettaessa on kalliopinta puhdistettava huolellisesti, juuri ennen valua. Lisäksi suositellaan asennettavaksi injektointiletkut joilla saadaan betonivalun jälkeen tiivistettyä kallion ja betonikauluksen kontaktia. Apuna voidaan käyttää bentoniittinauhaa jolla on sama tiivistämistarkoitus kuin injektointiletkuillakin.<sup>25</sup>

### **Alalaatta**

Alalaatta valetaan sille louhittuihin uriin (kuva 14). On tärkeää louhia siilon alaosa tarkkuuslouhinnalla, jotta valukustannukset jäävät mahdollisimman pieniksi. Alalaatta tulee kuperaksi, jolloin siihen muodostuva hiekan kuormitus siirtyy alalaattaa tukevaan kallioon.

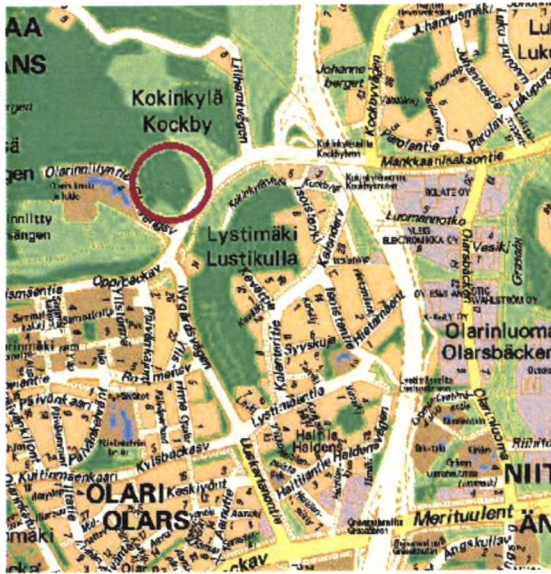


Kuva 14: Siilon alalaatan ura, laatan sijoitus ja salaojaputki

## 5 Olarin hiekkasiilo

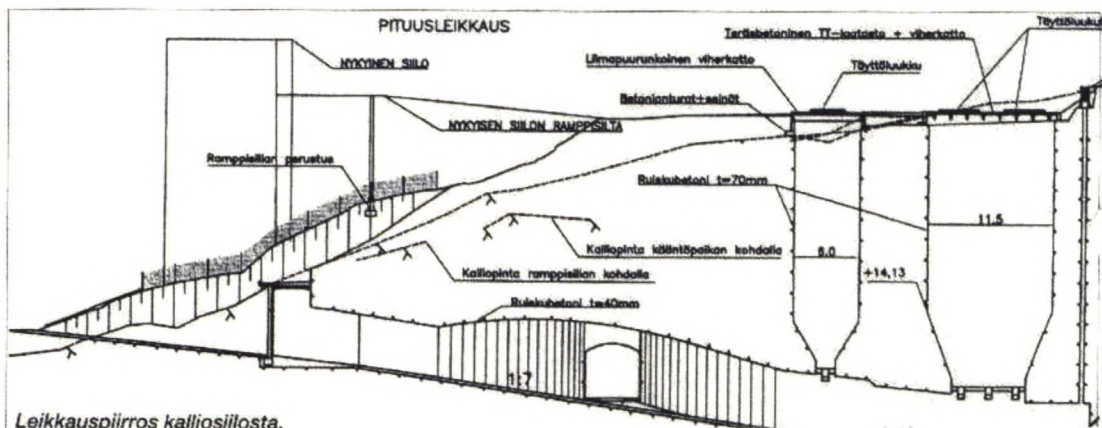
### 5.1 Lähtötiedot

Olarin suola- ja hiekkasiilot louhittiin Espooseen Olarin pohjoispuolelle vanhan betoniaseman viereen (kuva 15). Tunnelin suuaukko on kalliojyrkänteen juurella etelään päin suuntautuneena.



Kuva 15: Olarin hiekkasiilon sijainti

Luolastolle tuli yhteensä tilavuutta noin  $7500 \text{ ktdm}^3$ . Tämä sisältää ajotunnelia ( $3500 \text{ ktdm}^3$ ), suolasiilon ( $500 \text{ ktdm}^3$ ) ja hiekkasiilon ( $3500 \text{ ktdm}^3$ ). Lisäksi



Leikkauspiirros kalliohiekasiilosta.

Kuva 16: Olarin kalliohiekasiilon leikkauspiirros

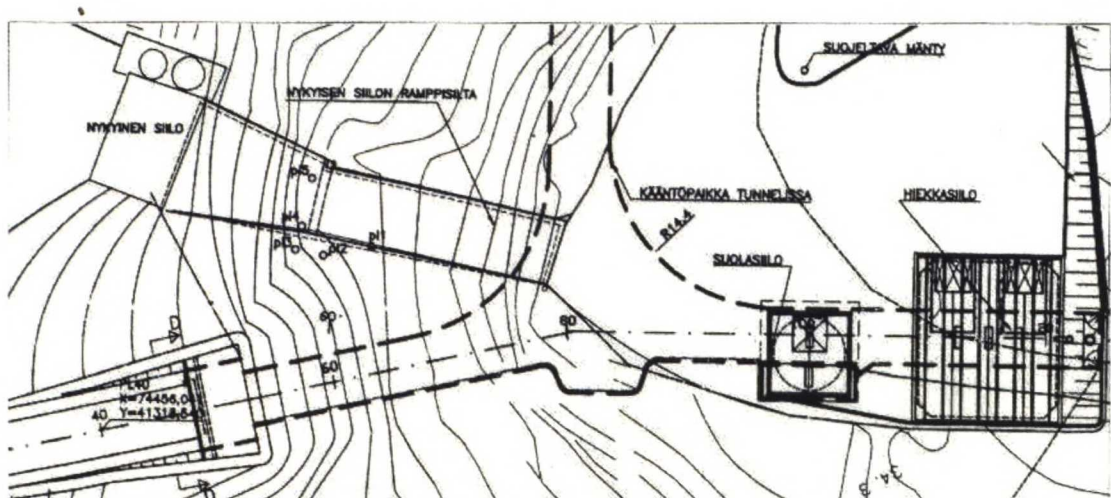


maankaivuuta suoritettiin noin 1000 ktdm<sup>3</sup>.

Siilon toimintaperiaatteena on että raaka-aine lastataan siiloihin yläpuolelta avattavista luukuista. Purku tapahtuu alapuolelta tyhjennysluukuista käyttöajoneuvoihin (kuva 10, 13, 16). Suolasiilon yhteyteen sijoitetaan suolaliuosallas.<sup>26</sup>

## 5.2 Työmaan perustaminen sekä maankaivu

Olarin hiekkasiilon louhintatyömaa avattiin lokakuun alussa 2001. Työn rakennusurakoitsijana on toiminut YIT-yhtymä Oyj. Työ alkoi tukikohdan perustamisella, ja tämän jälkeen aloitettiin maankaivu. Maankaivuuta hankaloitti vieressä sijaitseva vanha maanpäällinen siilo, jonka lastaussilta on perustettu maanvaraisesti tulevan suuaukon läheisyyteen (kuva 17, nykyinen siilo).



Kuva 17: Olarin kalliosiilon yleispiirros, mittakaava 1:100

Alun perin siilon ajotunnelin tuli olla suora, mutta vanhan siilon lastaussillan romahtamisvaaran vuoksi sisäänkäyntiä siirrettiin 6 metriä kauemmaksi vanhan siilon ramppisillasta. Tällöin käänköpaikan kohdalla tuli pieni mutka. Muutoin käänköpaikan kohdalta eteenpäin suunnitelmat pysyivät ennallaan (kuva 17).

### 5.3 Tukimuuri

Jyrkän maaluiskan ja ajosillan romahtamisvaaraan liittyen päätettiin myöhemmin rakentaa tukimuuri tunnelin suuaukon yläpuolelle. Muuri tuli estämään maaineksen valumisen vanhan lastaussillan alta, koska rinnekaltevuus muodostui liian jyrkäksi tunnelin suun ja vanhan siilon välissä. Tukimuuri sijaitsee nykyisen maanpäällisen siilon lastaussillan ja louhitun tunnelin suuaukon välissä (kuva 17).

### 5.4 Avolouhinta

Kun maat oli poistettu tunnelin suuaukon paikalta, avolouhittiin tulevan suuaukon edestä kalliota. Avolouhintaa tuli yhteensä  $650 \text{ ktrm}^3$  (kuva 16, 17). Avolouhintaa suoritettiin poraamalla ensin vaunuporakoneella ja panostamalla sen jälkeen. Reikävälinä käytettiin 60-80 cm ja etuna 80-100 cm. Reikäkokona käytettiin 64 mm.

### 5.5 Ennakkopultitus tunnelin otsalle

Avolouhinnan valmistuttua oli vuorossa tunneliotsan pulttaus. Suuaukon ympärille pultattiin aluksi 19 kappaletta 3 metrin pituisia juotettuja harjateräspultteja, joiden halkaisija oli 25 mm. Pulttien pulttausmassan, eli laastin, annettiin saavuttaa tarpeellinen lujuus, jonka jälkeen aloitettiin peränajo.

### 5.6 Peränajo

#### **Peränajon aloitus ja täkkäys**

Peränajo alkoi 29.10.2001. Ensimmäisellä räjäytyksellä tarkoituksena oli räjäyttää vain 2 metrin tunnelikatko. Tunnelin kaaret räjäytettiin kaksi katkoa pilottitunnelin jälkeen. Räjäytyskentän täkkäys osoittautui aikaa vieväksi, sillä jokaiselle räjäytykselle piti nostaa täkkäysmattoja tunnelin suulle sinkoutumisvaaran vuoksi. Täkkäys suoritettiin lastauskoneen kauhaan sijoitetun nokan avulla. Renkaista ja vaijerista tehdyt matot ripustettiin tunnelin suuaukon yläpuolella oleviin tappeihin.

## **Peränajon ohjelma**

Peränajon pilotin pituutta kasvatettiin koko ajan pitemmälle mentäessä. Pituuden kasvu oli 0,5m/katko. 5 metriä pitempiä katkoja ei otettu. Tämä johtuu siitä, että mitä pidemmät reiät ovat sitä suurempi momentaaninen panostusaste tulee katkoa kohden. (Momentaaninen panostusaste tarkoittaa, paljonko räjähdysainetta räjähtää samalla nallinumerolla.) Tärinäarvot nousevat momentaanisen panostusasteen kasvaessa.

Tärinämittaukset suoritti ulkopuolinen konsultti. Tärinäarvoissa ei tullut ylityksiä lähistöllä sijaitseviin tärinämittareihin.<sup>27</sup> Käytännössä päivän ohjelmaan kuului katkon mittaus, poraus, panostus, räjäytys, tuuletus sekä lastaus.

## **Louhinnan aikataulut**

Ensin louhittiin siilojen alapuolinen tunneli valmiiksi, jotta päästiin aloittamaan siilojen poraustyöt mahdollisimman nopeasti. Tämän jälkeen tehtiin kääntöpaikan peränajo. Suurempia ongelmia ei peränajossa ilmennyt, ja sen valmistuttua päästiin aloittamaan siilojen alaosien poraustyöt.

## **5.7 Siilojen louhinta**

### **Tasauslouhinta**

Samanaikaisesti peränajon kanssa tehtiin yläkentällä tasauslouhintaa. Syvimmillään kiveä irrotettiin noin 3.5 metriä 20 metrin leveydeltä. Tasauslouhinta tehtiin avolouhintana. Ylimääräinen maa-aines tasauslouhinnan päältä toimitettiin lähistöllä olevalle täyttötyömaalle.

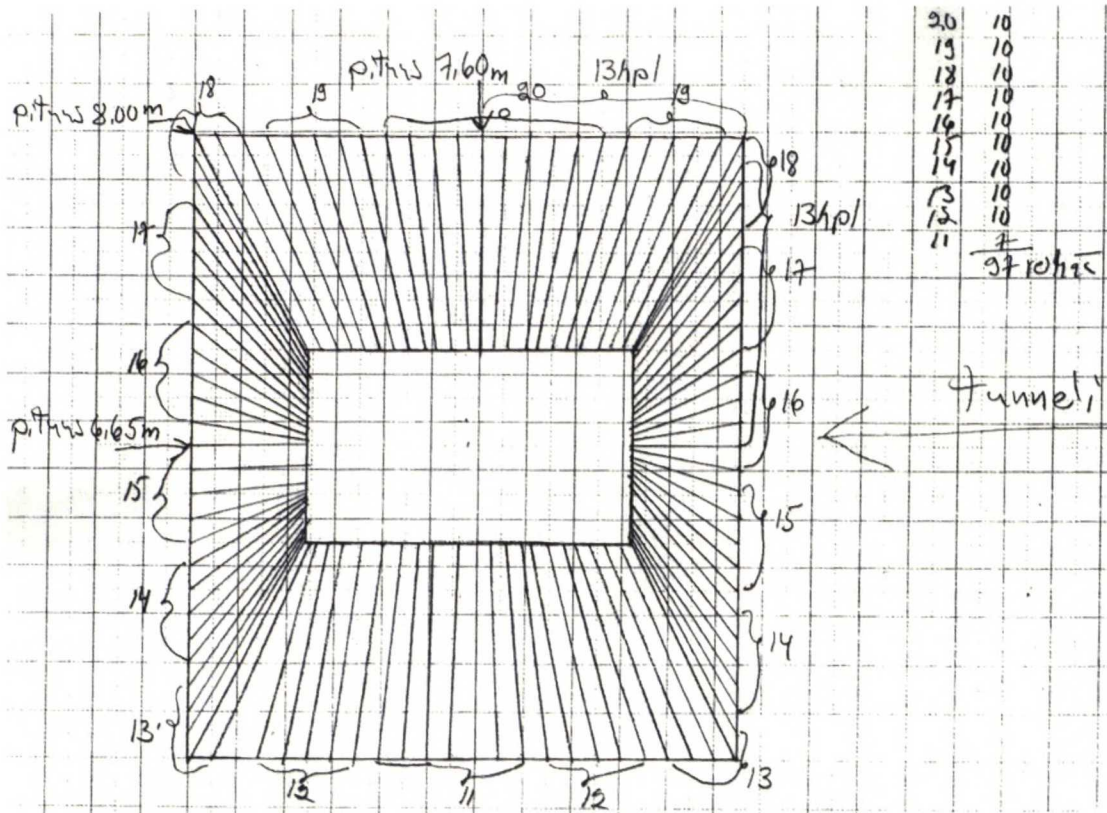
### **Siilojen poraus**

Siilojen porauksessa käytettiin kahta poravaunua. Siilojen alaosien poraustöihin käytettiin porausjumboa jatkotankokalustolla. Siiloja pystyttiin poraamaan yläpuolelta alapuolisten töiden valmistuttua. Tämä sisältää myös siilojen alapuolisten suuaukkojen reunojen pulittauksen. Se johtui työturvallisuudesta, koska alapuolella ei saa työskennellä, kun yläpuolella porataan reikiä.



## Siilojen jumboporaus

Siiloissa oli mielenkiintoisena yksityiskohtana hiekkasiilon alapuolen poraus. Siilo levisi alhaalta ylöspäin viisteiksi (kuva 18). Ensin jouduttiin räjäyttämään keskeltä siilon alaosa mahdollisimman korkeaksi (kuva 18, keskellä suorakulmio), jonka jälkeen täytyi käyttää jatkotankokalustoa jumboporausessa. Reiän pituudeksi tuli 6.65–8 m. Reikäväli siilojen reunassa oli 0,5m (kuva 18, koko suorakulmion sivussa), mutta porauspisteen lähdössä vain 15–20 cm (kuva 18, pienen suorakulmion sivussa). Uudenaikainen porausjumbo mahdollisti tarkan porauksen. Porauksen kulmat näkyvät näytöllä, samoin kuin koordinaatit. Porauksessa oli vaativaa porauskulman muuttuminen pituus- ja vaakasuunnassa. Lisäksi porausalusta oli kaltevalla pinnalla. Siilon alaosan viisteen räjäytys suoritettiin rakoräjäytyksenä. Tämä tarkoittaa, että räjäytyksellä tehtiin rako siilon viisteisiin, jolloin kalliomassat irtoavat vasta, kun räjäytetään siiloon porattuja pystysuoria reikiä.



Kuva 18: Alapuolisen viisteen porauskaavio, alapuolinen tunneli kulkee oikealta vasemmalle

### **Laattojen urien poraus**

Siiloihin porattiin ja räjäytettiin alapuolisten laattojen urat. Työ jouduttiin suorittamaan osin käsiporakoneporauksena. Tämä johtui tilan ahtaudesta, ja porauksen suunnasta. Siilon sisältä alakätisesti suoritettua porausta varten oli vaikea saada sähköhydraulista porakonetta asemiin poraamaan yhden metrin mittaista reikää tunnelin suuntaan nähden 90 asteen kulmaan.

### **Siilojen vaunuporaus**

Siilojen poraus aloitettiin ylhäältä päin marraskuussa 2001. Ensin oli käytössä yksi poravaunu (kuva 19), jolla porattiin hiekkasiiloa. Välittömästi siilon alapuolisten töiden salliessa aloitettiin poraus suolasiilossa toisella poravaunulla.



**Kuva 19: Poravaunu**

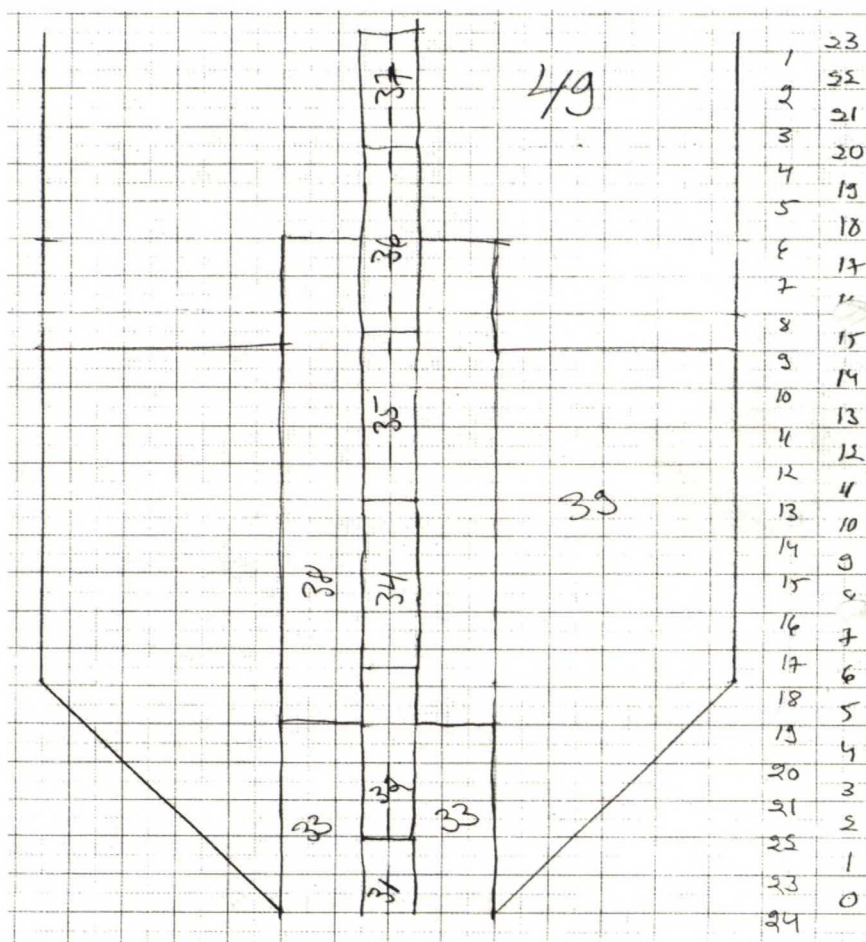
Siilojen porauksessa huomioitavaa oli työvarojen poisjättäminen. Poraus aloitetaan yleensä 15-20 cm teoreettisen reunalinjan ulkopuolelta, tässä tapauksessa poraus aloitettiin teoreettisesta linjasta. Syynä oli siilojen päälle tulevien elementtien sopiminen. Elementit valmistettiin tilaustyönä.

Siilojen reunoille porattiin pultinreiät. Pultit asennettiin hyvissä ajoin ennen siilon kalliokannen pudotusta, jotta pulteista olisi mahdollisimman suuri hyöty yläpuolisen louhintatyön laadun kannalta. Tarkoituksena oli pitää kalliopinta ehjänä tulevan betonikauluksen ja kalliopinnan rajapinnalla.



## Siilojen panostus

Siilojen louhinta suoritettiin panostamalla lähes kokonaan ylhäältä päin. Ensin räjäytettiin aukaisua (kuva 20, kohdat 31, 32, 34 - 37) ylöspäin kannelle asti, ja aukaisua levennettiin hiekkasiilon osalta (kuva 20, kohdat 33, 38). Suolasiilossa nousun laajennusta ei tarvinnut tehdä, koska siilon läpimitta oli pienempi. Hiekkasiiloa räjäytettiin mahdollisimman nopeasti, ja tammikuussa 2002 oli kannen alas räjäytys. Suolasiilon kansi räjäytettiin viikolla kahdeksan, noin viikko hiekkasiilon jälkeen. Kuvassa 20 on esitetty kokonaisuudessaan hiekkasiilon räjäytysjärjestys. Huomattavaa on, että viisterako räjäytettiin jo aikaisemmin alapuolelta (Kuva 18).



Kuva 20: Hiekkasiilon räjäytysjärjestys, oikealla näkyy siilon syvyys metreissä



### **Siilojen rusnaus**

Hiekkasiilossa oli louhinnasta jäänyt irtonaisia lohkareita siilon yläosaan, mistä aiheutui komuvaara. Rusnauksessa käytettiin käsin rusnauksen lisäksi pitkäpuomista kaivinkonetta sen ulottuvuuden rajoissa. Seuraavaksi vuorossa oli siilojen rusnaus (kuva 21). Käsinrusnaus suoritettiin työmaanosturin kannattelemaasta korista.



**Kuva 21: Rusnattu hiekkasiilo, huomaa alapuoliset viisteet**

### **Suurreikien poraus**

Kun tunneli oli louhittu täyteen mittaan porattiin tuuletus- ja poistovesireikä. Tuuletusreikä porattiin tunnelin päähän ylhäältä vaunukalustolla (kuva 16). Läpimitaksi tuli 300 mm. Valmistuneeseen reikään asennetaan aksiaalipuhallin. Poistovesireikä porattiin katon ja seinän taitteeseen 115 mm läpimittaisena. Reikä porattiin luolaston itäpuolelta viistosti alaspäin. Reikä toimii veden poistajana tunnelista erillisten pumppujen avulla. Tunnelin päähän on louhittu kahden metrin syvyinen pumppukuoppa, jonne tulee öljynerotus.

## **5.8 Huomioita**

### **Maakaasuputki**

Lähistöllä sijaitseva maakaasuputki tuotti ongelmia. Telamurskain pystytettiin sijoittamaan paikalle vain yhteen paikkaan. Tällöin ainoa lastauspaikka muodostui sellaiseksi, että lastauskone joutui jokaisella lastauskerralla ajamaan maakaasuputken yli. Maakaasuputken omistajalta tuli vaatimus murskauksen lopettamisesta.

### **Hiekkasiilon yläosan pultit**

Siilon yläosan pystypultteja ei ollut asennettu tarpeeksi, pitämään siilon voimakkaasti pystyrakoa yläreunaa ehjänä. Yläosan pultit jouduttiin osaksi pulttaamaan uudelleen. Pultteja olisi ollut syytä asentaa enemmän. Pystyrakoa kalliin olis ollut syytä asentaa pultteja myös vinosti.

### **Irrotetun louheen poiskuljetus**

Louheen välivarastointialue oli liian pieni. Välivaraston täyttyessä louhetta jouduttiin ajamaan yläkentälle. Jos louhetta ei voi kuljettaa suoraan pois työmaalta, muodostuu yleensä ongelmia tilanpuutteen johdosta.

### **Laajennus**

Maaliskuun alussa 2002 aloitettiin ylimääräisen siilon rakennustyöt. Tulevan siilon perä ajettiin kääntöpaikan kohdalla hiekka- ja suolasiilon länsipuolelle.

## 6 Siilokäynnit

Siilokäynnit suoritettiin helmikuussa 2002. Siilokäynnit tapahtuivat pääkaupunkiseudun siiloihin. Siiloja oli yhteensä 14 kappaletta, joista Helsingin kaupungin oli 8, Tiehallinnon 3 ja Espoon kaupungin 3. Siiloista on koottu liitteenä 1 oleva taulukko. Taulukossa on esitetty siilojen tarkastuksessa huomiodut hyvät ja huonot seikat.

### **Yleiskuva**

Siilokäynneissä oli mukana kunkin siilon vastuuhenkilö. Jokaisessa vierailukohteessa oli asioita mitkä olisi kannattanut tehdä toisin rakentamisen tai suunnittelun yhteydessä. Osa siiloista on vanhoja, ja ongelmat ovat peräisin alkuperäissuunnitelmista. Pääsääntöisesti näissä tapauksissa siilojen tunnelit on suunniteltu liian kapeiksi ja mataliksi. Kalusto on suurentunut niin paljon, että se ei enää mahdu sisään siilotunneleihin.

### **Vierailut**

Tietoa saatiin kunkin siilon ja niihin liittyvien tunneleiden ja muiden toimintojen tilasta. Käynneissä kiinnitettiin huomiota erilaisiin asioihin: Täyttöluukkujen sekä tyhjennysluukkujen toimivuus, korroosio-ongelmat, tunnelien koko ja toimivuus, siilojen koko, lujitus, vedenpoiston- ja ilmanvaihdon toimivuus sekä sähkölaitteiden toimivuutta. Huomiot on esitetty liitteessä 2.

### ***Tuloksien analysointi***

#### **Vesivuodot**

Vesivuodot olivat yleisiä puolessa siiloista, ja tuottivat suoranaisia ongelmia kahdessa siilossa (kuva 22). Vettä oli niin paljon, että kovilla pakkasilla hiekka-kuormat saattoivat jäätyä hiekoitinajoneuvon lavalle.





**Kuva 22: Tyhjennysluukusta tuleva vesivuoto siilon seinällä**

### **Ilmastointi**

Ilmastointi toimi hyvin lähes joka siilossa. Kahdessa siilossa ruuhka-aikana ilma kävi huonolaatuiseksi. Ilmastointiratkaisuna osoittautui parhaimmaksi tekniikka, missä ilmastointi oli järjestetty tunnelin perällä olevan maanpinnalle poratun reiän kautta. Ilmastointiputkistojen kulkemista pitkin tunnelin kattoa tulisi välttää tilan viennin ja huonomman toimivuuden takia (kuva 23). Savukaasujen poisto tapahtuu siiloissa ilmastointikanavia pitkin.



**Kuva 23: Tuuletusputki tunnelissa**

### **Täyttöluukut**

Täyttöluukkujen suurimpana ongelmana oli koko. Useissa siiloissa täyttöluukut olivat mitoitettu 60- ja 70-luvun kaluston koon mukaisesti liian pieniksi. Tällöin täytettäessä vaaditaan suurta tarkkuutta, jotta hiekka menee lavalta kaadettaessa suoraan siiloon, eikä maahan siiloon lapioitavaksi.

Täyttöluukkujen maisemoinnista on pidettävä huolta. Erityisesti kun siilot sijoituvat asutulle alueelle. Paras ratkaisu löytyi Munkkisaaresta, jossa täyttöluukkujen päälle oli tehty pysäköintipaikkoja (kuva 24).



**Kuva 24: Maisemoitu täyttöluukku**

### **Liikennejärjestelyt tunneleissa**

Ympäriajettavuus helpotti siilojen käyttöä. Käytännössä käytettävyys oli haastattelujen perusteella hyvää myös siiloissa, joissa joudutaan peruuttamaan tyhjennysluukkujen alle. Alppilassa oli ympäriajettavuuden lisäksi liikennevalot, jotka vähentävät turhia peruutuksia. Siiloissa esiintyi vähän ruuhkia.

### **Tyhjennysluukut**

Tyhjennysluukut olivat pääsääntöisesti mekaanisia ja toimivat hyvin. Korroosiota esiintyi, mutta siitä huolimatta toimivuus tyhjennysluukuissa oli erittäin hyvää (kuva 25).





**Kuva 25: Korroosiota  
tyhjennysluukussa**

Ainoastaan Suomenojan kohteessa oli kaksi sähköistettyä luukkua, jotka toimivat hyvin.

### **Valaistus**

Valaistus oli jokaisessa kohteessa riittävä. Leppävaarassa se oli huomattavan hyvä. Ainoa negatiivinen puoli valaistuksen suhteen oli Patterinmäen siilossa. Patterinmäellä on erittäin ahdasta, koska valaistuksen sijoittelu pienentää ajotunnelin poikittaispinta-alaa.

### **Vedenpoisto**

Vedenpoisto toimi kaikissa kohteissa hyvin. Parhaimmat ratkaisut löytyivät kohteissa, joissa oli porattu poistoreikä tunnelin perälle. Tällöin tunnelin laajennusmahdollisuudetkin helpottuvat, koska poistokanaali ei kulje tunnelia pitkin. Tarvittaessa laajennuslouhinnat voidaan tehdä tunnelia syventämällä.

### **Suola**

Ainoa suolasiilo sijaitsi Tuomarilassa. Suolan varastointi siilossa oli toiminut hyvin. Suolaliuosta toimitetaan Tuomarilasta muun muassa Espoon kaupungin siiloihin, joissa sijaitsevat erilliset suolaliuossäiliöt. Suolaliuossäiliöt sijaitsevat

hiekkasiilojen yhteydessä, jolloin voidaan helposti tehdä hiekan ja suolaliuoksen sekoitusta. Muissa kohteissa suola varastoidaan joko säkkitavarana tai avokasassa maan alla. Suolan avokasavarastointiin ollaan tyytyväisiä (kuva 26).



**Kuva 26: Suolaa kasassa maan alla, etualalla pyöräkuormaaja**

### **Tunnelin koko**

Tunnelin koko oli viidessä kohteessa liian pieni. Tämä aiheutti sen, että kaikki kalusto ei mahtunut tunnelin sisälle.

### **Muuta huomioitavaa**

- Kuormantunnistusautomaatiikka tulisi sijoittaa samaan yhteyteen ovien aukaisuautomaatiikan kanssa.
- Siilojen yhteydessä pystyy säilyttämään muutakin kuin pelkästään siiloihin menevää materiaalia.
- Korroosiota esiintyy huomattavasti kosteissa olosuhteissa mikä tulee ottaa huomioon materiaalivalinnoissa.

- Sisäänkäyntien turvallisuuteen on kiinnitettävä huomiota. Hakunilan siilossa oli jatkuva komuvaara sisäänkäynnin otsan yläpuolelta tippuvien kivien takia.



## 7 Johtopäätökset

### Käyttökokemukset

Käyttäjien antama palaute siilojen käytöstä on ongelmiseen positiivista. Siiloissa on hyvä varastoida hiekkaa ja suolaa. Tämän mahdollistaa etenkin stabiili lämpötila, joka on alle 100 metrin syvyydessä maanpinnasta noin +8 °C. Huomiota tulee kiinnittää vedeneristykseen niin, että säilytettävä materiaali pysyy käyttökelpoisena.

Siiloja on mahdollista hyödyntää muunkin materiaalin varastoimisessa. Öljysoraa on säilytetty siilojen tunneleissa hyvällä menestyksellä, sillä se pysyy talvella siilossa lämpimämpänä kuin ulkona olevassa kasassa. Käytettävyys helpottuu ja nopeutuu.

Siilojen suunnittelu on tehtävä mahdollisimman tarkasti. Jos siilo suunnitellaan liian pieneksi, joudutaan sitä laajentamaan myöhemmin käyttämisen aikana. Se on kalliimpaa verrattuna siihen, että olisi louhittu kerralla tarpeeksi avarat tunnelit. Tällä hetkellä pääkaupunkiseudulla on useita siiloja, joissa tunnelit ovat liian ahtaita.

Siilojen sijoittamisessa on huomioitava käytön taloudellisuus. Rakentaminen parhaaseen paikkaan ei ole välttämättä edullisinta, jos sijainti ei ole tarpeeksi keskeinen.

### Olarin siilon kalliorakentaminen

Siilotyömaata voidaan pitää pienenä kalliorakennusprojektina. Pienelle projektille tunnusomaisia ovat vähäiset resurssit. Vähäisten resurssien hyvä käyttöaste on tärkeää, jotta projekti muodostuu kannattavaksi. Onnistumisen edellytyksenä on ammattitaitoinen työjohto. Työnjohdon on osattava ennakoida vaikeudet. Siilotyömaan vaikeuteen kuuluu vähäisten louhintatöiden liittäminen vähäisiin rakennustöihin. Tällaisella työmaalla on vähän kumpaakin.

Kalliorakentamisessa on pystyttävä sopeutumaan kalliolaadun vaihteluun. Heikkousvyöhykkeiden ilmetessä täytyy toimia niin, että työturvallisuus on kunnossa ja projekti etenee kuitenkin niin nopeasti kuin on mahdollista.

Rakentamisessa tulee huomioida suunnitelmien muuttuminen rakentamisen yhteydessä. Kyseisessä projektissa merkittäviä muutoksia oli useita, kuten tunnelin suun siirtyminen, tukimuurin teko ja ylimääräisen siilon rakentaminen.

### **Toimivan siilon tunnusmerkit**

Toimivan siilon tunnusmerkkejä on paljon. Seuraavassa on esitetty asioita, jotka tekevät siilosta toimivan

Ympäriajettavuus helpottaa ja nopeuttaa siilossa asiointia. Peruuttaminen on aina hidasta, ja sitä tulisi välttää. Ympäriajettavuus yhdistettynä riittävään valaistukseen takaa sen, että ajo siilojen alle ja kuorman teko on mahdollisimman käytännöllistä. Siilojen tunneleiden on syytä olla tarpeeksi laajoja. Uutta siiloa tehtäessä on suunnittelussa otettava huomioon mahdollinen kaluston kasvu pitkällä aikavälillä. Jonotusalueet on huomioitava kuhunkin siiloon sopivan kokoisiksi. Hiekoitusajoneuvot eivät saa rajoittaa ihmisten liikkumista. Suunnittelussa on otettava huomioon alueellinen toimivuus. Keskeinen asema ja hyvät yhteydet käyttöalueeseen ovat tärkeitä sekä talouden, että liukkauden nopean torjunnan kannalta.

Siilon tyhjennysluukkujen on oltava hyvin korroosiota kestäviä. Manuaalisesti toimiva luukku on käyttövarmin ratkaisu. Ovenavausautomaattikka ja kuormalaskuri on hyvä yhdistää samaan tunnistimeen. Se estää ilkivallan, ja takaa siilossa olevan materiaalin määrän pysymisen ajan tasalla. Näin siilon täyttö on ennakoitavissa.

Siiloihin on tehtävä riittävän suuret täyttöluukut, ja myös kaluston kasvu tulevaisuudessa on otettava huomioon. Samoin täytyy tehdä tarpeeksi suuret odotusalueet, jotta täyttö sujuisi mahdollisimman joustavasti. Joustavuuden takia täyttöalueelle johtavien teiden olisi oltava tarpeeksi leveät, jolloin kaksi täyttöajoneuvoa mahtuisi ohittamaan toisensa.

Siilossa on oltava hyvä vesieristys. Varastoitava materiaali ei saa kastua. Kosteus aiheuttaa levityksessä ongelmia. Vesieristyksessä on kiinnitettävä huomiota yläosan kauluksen ja kalliopinnan kontaktiin.

Jokaiseen maanalaiseen tilaan tulee vettä. Hyvässä siilossa vedenpoisto on hoidettu tunnelista lähtevää erillistä porattua reikää pitkin. Tunnelissa on hyvä olla kaksi pumppua, jolloin toisen ollessa epäkunnossa toinen toimii. Pumpuille on tärkeää järjestelmällinen huolto.

Siiloon ajautuva vesi on järjestettävä salaojia pitkin pois siten, että tyhjennysluukuista ei valu vettä. Tämä antaa luukuille pidemmän kestoajan korroosion suhteen. Tuuletus on syytä hoitaa tunnelin perällä olevan tuuletusreiän avulla. Sähköjärjestelmät on syytä sijoittaa keskitetysti kaikki samaan ja kuivaan paikkaan.

Siilojen toimivana ratkaisuna käytetään alaspäin suppenevia siiloja. Lämpimän kasvaessa pitää järjestää täyttö niin, että siilo saadaan kokonaan täyteen.

Siiloissa sisääntulorampin on oltava lämmitetty, mikäli kaltevuus sen vaatii. Sisääntulorampin kattaminen on toinen vaihtoehto. Tunnelin sisääntulon otsan on oltava lujitettu asianmukaiseksi. Sisääntuloon voidaan rakentaa lippa.



## 8 Yhteenveto

Työssä käsiteltiin aluksi louhintatekniikan teoriaa. Teoria käsitti peränajon ja kuilunajon louhintatekniikan. Louhintatekniikka on käyty läpi työvaihe kerrallaan. Yksityiskohtia käsiteltiin siten, että työn loppuosassa käyty käytännön osa on ymmärrettävissä. Louhintatekniikan teoriasta käsiteltiin ne osat, joita vaaditaan siilokokonaisuuden louhimisessa.

Tunnelien käyttökohteita esiteltiin työssä erilaisten varastojen osalta. Kallioon rakennetut erilaiset varastot ovat maan alla monesti samoista syistä johtuen, kuten tilanahtaus, ympäristöön soveltumattomuus, turvallisuus ja kustannussyyt.

Hankesuunnitelmaa käsiteltiin omassa luvussa. Esille nousi huomioitavia seikkoja, joista tärkeimpiä oli selvittää tilan käyttäjän todelliset tarpeet sekä löytää siilokokonaisuudelle hyvä sijainti.

Ensimmäisenä käytännön osana käsitellään Olariin rakennetun kalliosiilon louhintaa. Louhinta käsitellään työvaihe kerrallaan. Ensin kerrotaan työn aloittamisesta, maa-aineksen poistosta ja avolouhinnasta. Tästä edetään peränajoon ja siilojen louhintaan.

Toisena käytännön osana on käsitelty siilojen käyttökokemuksia. Siilovierailujen perusteella on nostettu esiin asioita joihin on kiinnitetty huomioita. Suurimpia ongelmia olivat vesivuodot ja siilojen ajotunnelien liian pieni koko.

Johtopäätöksiin on kerätty yksityiskohtaisia huomioita Olarin siilon louhinnasta sekä pääkaupunkiseudun siilojen käyttökokemuksista. Johtopäätöksissä on esitetty myös toimivan siilon tunnusmerkit, jotka on koottu käytännön osasta saadun informaation avulla.

# KUVALUETTELO

---

Kuva 1: Poraus- ja panostuskaavio

Kuva 2: Kuilun poraus- ja panostuskaavio

Kuva 3: Pakkasvarastojen suhteelliset kustannukset

Kuva 4: Pakkasvaraston lämpötilan nousu käyttöhäiriön jälkeen

Kuva 5: Trukkivarasto kalliossa

Kuva 6: Hiekkasiiloja Suomessa 80-luvulla

Kuva 7: Pullonmuotoisen siilon pienoismalli tunneleineen ja ilmanvaihtoreikineen

Kuva 8: Betonipilarit siilon alapuolisena kantavana rakenteena

Kuva 9: Nykymuotoinen alaspäin kapeneva siilo

Kuva 10: Siilon täyttämistä hiekoitussepelillä Vaivattomasti nostamalla avattava luukku.

Kuva 11: Vastapainollinen luukku

Kuva 12: Rullautuva luukku

Kuva 13: Tyhjennysluukut toiminnassa

Kuva 14: Siilon alalaatan ura, laatan sijoitus ja salaojaputki

Kuva 15: Sijainti Espoon Olarissa

Kuva 16: Olarin kalliohiekkasiilon leikkauspiirros

Kuva 17: Olarin kalliosiilon yleispiirros, mittakaava 1:100

Kuva 18: Hiekkasiilon räjäytysjärjestys, oikealla näkyy siilon syvyys metreissä

Kuva 19: Poravaunu

Kuva 20: Hiekkasiilon räjäytysjärjestys

Kuva 21: Rusnattu hiekkasiilo

Kuva 22: Tyhjennysluukusta tuleva vesivuoto siilon seinällä

Kuva 23: Tuuletusputki tunnelissa

Kuva 24: Maisemoitu täyttöluukku

Kuva 25: Korroosiota tyhjennysluukussa

Kuva 26: Suolaa kasassa maan alla, etualalla pyöräkuormaaja

Kuva 1/2: Alppilan pienkuormaushiekanohjain

Kuva 2/2: Herttoniemen tyhjennysluukku

Kuva 3/2: Patterinmäen ovenavausautomaattiikka

Kuva 4/2: Munkkisaaren maisemoitu täyttöluukku, parkkipaikka

Kuva 5/2: Malmin Kauppatie täyttöalue

Kuva 6/2: Hakunilan sisäänkäynnin yläosa

Kuva 7/2: Tuomarilan täyttöluukku

Kuva 8/2: Jerikonmäen sisäänkäynnin tunnelin otsa

Kuva 9/2: Suolaliuosastia Suomenojalla

# KIRJALLISUUSLUETTELO

---

- <sup>1</sup> V. Heiskanen S. Härmälä, Maastomittaus ja kartoitus, 1963, ss 127-129
- <sup>2</sup> Räjähdysainetuottajien yhdistys, Kallionräjäytysopas, 1969, ss 5-64
- <sup>3</sup> Tamrock, Handbook of Surface Drilling and Blasting, 1983, ss 133-152
- <sup>4</sup> Voitto Elomaa, Luento, 22.4.2000
- <sup>5</sup> VMY, Kaivosmiehen käsikirja, 1964, ss. 94-95 & ss.114-115
- <sup>6</sup> E. Hoek & E. Brown, Underground Excavations in Rock, 1980, 341-343
- <sup>7</sup> O-P.Hartikainen, Kallionrakennustekniikka, 1976, ss. 194-198
- <sup>8</sup> O-P. Hartikainen, Kallionrakennustekniikka, 1976, ss. 198-199
- <sup>9</sup> R. Vuolio, Räjätystekniikka, 1989, ss. 220-235
- <sup>10</sup> O-P. Hartikainen, Kallionrakennustekniikka, 1976, ss. 140-141
- <sup>11</sup> Kalliorakentamisen mahdollisuudet, Maanalaisten tilojen rakentamisyhdistys ry, 1988, ss. 92-145
- <sup>12</sup> Dokumentti Salmisaaren Työmaasta, Moon-TV, 11.6.2002
- <sup>13</sup> [www.posiva.fi](http://www.posiva.fi)
- <sup>14</sup> E. Pokki, Bulk solids handling, The International Journal of Storing and Handling Bulk Materials, Trans Tech Publications D-3392 Clausthal-Zellerfeld, W.Germany, 10/1986, ss 921-923
- <sup>15</sup> T. Kokko & E. Pokki, Haastattelu, 26.2.2002
- <sup>16</sup> A. Lehtinen, Louhintatekniikka TVH 2,837 A 4, 1970, ss. II/1-II/33
- <sup>17</sup> Viatek OY, Hiekkoitusiekan varastoinnin yleissuunnitelma, 1984, ss. 9-26
- <sup>18</sup> A. Lehtinen, Louhintatekniikka TVH 2,837 A 4, 1970, s. II/27
- <sup>19</sup> O. Ikävalko, Haastattelu, 11.4.2002
- <sup>20</sup> RIL 169-1987, Kalliotilojen rakennusohjeet, 1987, ss. 19-20
- <sup>21</sup> Viatek OY, Hiekkasiilojen kuivatus, Tie- ja vesirakennushallitus käyttöosasto, Kunnossapitotoimisto, 1981, ss. 25-26
- <sup>22</sup> T. Kokko & E. Pokki, Haastattelu, 26.2.2002
- <sup>23</sup> M. Törnqvist, Haastattelu, 12.2.2002
- <sup>24</sup> K. Nyrhinen, Rakennustöiden työselitys SCC Viatek, 9.7.2001
- <sup>25</sup> E. Tuunela, Haastattelu, 12.9.2002
- <sup>26</sup> T. Kokko, Tekniikka ja Kunta lehti, Artikkelit 8/2001
- <sup>27</sup> Eero Hurmalainen, Haastattelu, 20.3.2002



	Koko (m3)	Vesivuoja	Ilmastointi	Täyttöluukut	Tyhjennysluukut	Valaistus	Vedenpoisto	Suola	Tunnelin koko	Muuta
Alppila Herttoniemi Patterinmäki Taivaskallio Kivikko Munkkisaari Mellunmäki Malmi	8000+3200	+	+	+	++	+	+	1100	--	Remontti 1998, ympäriajettava Remontti 2000 Kuormatunnistin +++ Korroosiota Suolan lastauspaikka matala Remontti tulossa, toimivin kaikista Yhteiskäyttötunnelin yhteydessä
	5000+2000	+	+	+	++	+	+	650	+	
	6000	-	++	+	-	-	+	Ei ole	--	
	6500	-	+	+	-	+	+	Ei ole	--	
	4500	++	++	-	+	+	+	600	--	
	3000	-	+	++	--	+	+	Ei ole	+	
	350	+	+	+	+	+	+	Ei ole	+	
	300	--	+	-	+	+	+	Ei ole	+	
Hakunila Tuomarila Jerikonmäki	1000	-	-	-	+	+	+	Ei ole	--	Sisäänkäynnissä komuvaara ja jäätä Korroosiota Avosiilo
	2000	-	+	--	+	+	++	Silo 1500	+	
	2000	+	+	-	Ei ole	+	+	1000	+	
Suomenoja Leppävaara Gumböle	3300	--	-	-	+	+	+	Säk. ja Liu.	+	Suolaliuosta myös tankeissa Ympäriajettava Täyttöaste siloissa jää vajaaksi 500m3
	500	+	+	+	-	++	+	Ei ole	+	
	3300	+	++	-	+	+	+	Liukuksena	+	
Vesivuoja:	Vesivuodot vähäisiä ++, vesivuodot hallinnassa +, vesivuodot huomattavia -, vesivuodot heikentävät silon käytettävyyttä --									
Ilmastointi:	Ilmastointiratkaisu hyvä ++, ilmastointi pitää ilman kelvollisena +, ilmastointi ei poista tarpeeksi tehokkaasti -									
Täyttöluukut:	Täyttöluukku toimiva sekä tarpeeksi iso +, täyttöluukku liian pieni/toiminta heikkoa -, täyttöluukut huonossa kunnossa --									
Tyhjennysluukut:	Erityisen hyväkuntoinen luukku ++, toimiva luukku +, korroosiota/huonosti toimiva -, huomattava korrosio --									
Valaistus:	Erityisen hyvä valaistus ++, valaistus riittävä käyttäjän kannalta +, riittämätön valaistus/valaistus häiritsee -									
Vedenpoisto:	Erityisen hyvä ratkaisu ++, toimii +									
Suola:	Suola varastoitu kasassa									
Ajotunnelin koko:	Tunneli tarpeeksi leveä +, tunnelin koko liian pieni käytetylle kalustolle --									

## Alppila

Alppilassa Linnanmäen siilossa oli positiivisena asiana ympäriajettavuus. Alppilassa oli kaksi siiloa, joista toisessa oli ajotiesepeliä ja toisessa käytäväsepetiä. Suolaa sai lastattua kasasta. Huomioitavaa oli liikennevalo, joka ennaltaehkäisee turhia peruutuksia. Peruskorjaus on tehty noin 4 vuotta sitten. Suurin ongelma on sähköisissä tunnistimissa, jotka eivät tahdo toimia alhaalla tunnelissa olevan kosteuden vuoksi. Tunnistimet laskevat siilosta otetut kuormat, ja pitävät lisäksi luukut lukittuina. Oviaukko Alppilassa on pieni, mistä johtuen suurimmat suola-ajoneuvot eivät mahdu sisään. Ilmanvaihto toimii nousua pitkin. Pienkuormausohjain oli kärsinyt huomattavasta korroosiosta (kuva 1/2).



**Kuva 1/2: Alppilan pienkuormausohjain**

## Herttoniemi

Sahaajankadulla on kaksi siiloa. Toisessa on raekooltaan 1-6 mm mursketta ja toisessa 3-6 mm mursketta sekä suolakasa. Vuonna 2000 on siiloon tehty



**Kuva 2/2: Herttoniemen tyhjennysluukku**

peruskorjaus. Tunnelia oli suurennettu pohjasta, sekä luokkuja uusittu ala- ja yläpuolelta. Samoin oli korjattu ylhäällä olevaa betonikauluksen sekä kallion rajapinnan kontaktia, jotta vesivuodot olisivat vähentyneet. Siilon sisällä on myös ruiskubetonoitu vesi- ja komueristys. Vesivuodot ovat kohtuullisen vähäiset. Tyhjennysluukku on hyväkuntoinen (kuva 2/2).

Täyttöluukussa on hajotuspelti, joka on toiminut hyvin levittäen murskeen siiloon. Täyttöluukkujen koko on hyvä. Ilmastointi toimii hyvin, paitsi ajettaessa suolaa kasalle, jolloin pölyä on liikaa ilmassa.



## Patterinmäki

Patterinmäen paras ja huonoin puoli tulee esille sisäänajossa. Automatiikka avaa oven, rekisteröi minkä kokoinen auto tulee sisään ja kirjaa sen ottaman hiekkamäärän lähteneeksi siilosta. Huonona puolena on, että automatiikka sijaitsee liian lähellä tietä. Hiekkaa noutava auto joutuu jäämään osaksi ajotielle pysähtyessään automatiikan luo. Tilaa olisi ollut sijoittaa automatiikka edemmäs (kuva 3/2).



**Kuva 3/2: Patterinmäen ovenavausautomatiikka**

Tunneli itsessään on liian pieni. Suurimmat autot eivät mahdu sisälle. Ilmastointi toimii perässä olevan nousun kautta ja vedenpoisto kanaalia pitkin. Loisteputket pitäisi siirtää ahtauden vuoksi katosta seinälle.

## Taivaskallio

Taivaskallion siilossa oli ongelmana, että alhaalla oleva korttilukija ei toimi hyvin. Lukija pitäisi saada ylös ovenavauksen yhteyteen, kuten on toimittu Patterinmäellä.

Sisäänajossa on huomattava tilanahtaus. Tunnelissa ja siiloissa esiintyy vesivuotoja. Pahimmillaan kuorma on ehtinyt pakkasella jäätyä lavalle. Korroosio-ongelmia esiintyy tyhjennysluukuissa ja pieniin sirottimiin tarkoitetussa ohjurisuppilossa. Ohjurisuppilo täytyisi uusida. Ilmastointi toimii kohtuullisesti tunnelia pitkin.

90-luvulla on uusittu ovi, remontoitu valaistusta ja saatu lämmitys ajoluiskaan. Seuraavana uudistuksena on väliseinän rakentaminen siilon sisälle. Väliseinän rakentamisella saataisiin kahdelle eri raekoolle omat lokerot, eikä tarvitsisi enää täyttää siiloja keskellä talvea vaan hiekat riittäisivät koko talven. Tähän asti siiloja ei ole voitu täyttää kokonaan, jotta raekoot eivät olisi sekoittuneet.

## Kivikko

Kivikossa on huomattavana ongelmana tunnelin ahtaus. 60-luvulla rakennettuna se on täyttänyt silloiset kalustovaatimukset, mutta nykyään eivät kaikki tarvittavat ajoneuvot mahdu sisään. Tämä tulee esille erityisesti suolakasaa täydennettäessä. Suolan toimittajalle joudutaan ilmoittamaan millainen auto sisälle mahtuu. Sama tilanahtaus tulee esille myös suolan lastausalueella. Nykyisellään tila on liian matala.

Kivikossa ilmanvaihto toimii hyvin. Tuuletusilma tulee ilmanvaihtonousua pitkin, kun poistoputki taas alkaa ajotunnelin alaosaan. Vesivuodot olivat vähäisiä. Tunnelin osalta katto oli ruiskutettu. Seinät oli jätetty paljaiksi.

Luukut olivat ruosteessa, mutta toimintakelpoiset. Täyttöluukut olivat hyvät, mutta luukun vastapainossa oli ollut ongelmia. Vastapaino oli huonosti kiinnitetty. Muttereihin tulisi suositella hitsausta tai muunlaista varmistusta aukeamisen estämiseksi. Lastausaukko olisi voinut olla hieman pitempi.



## Munkkisaari

Munkkisaaren siilo oli kaiken kaikkiaan toimiva. Lukijalaite oli sijoitettu samaan ovenavauksen kanssa. Ovien avautuessa ilmastointi alkaa toimia. Luiska on ulkona lämmitetty ja toimii hyvin. Tunneli tosin ei ole tilava, mutta kaikki oma kalusto mahtuu sisälle.

Täyttöluukut on ratkaistu erittäin hyvin . Ne ovat maisemoitu sijoittamalla niiden päälle parkkipaikkoja (kuva 4/2).



**Kuva 4/2: Munkkisaaren maisemoitu täyttöluukku, parkkipaikka**

Siilossa on paljon vesivuotoa. Kuormat ovat ehtineet jäätyä lavalle. Suppiloissa ja luukuissa esiintyy korroosiota, mutta tuleva peruskorjaus uudistane ne.

## Mellunmäki

Paikoitusluolan yhteyteen rakennettu siilo on pieni. Siilossa ei ole esiintynyt juuri muita ongelmia kuin lukijalaitteen toimimattomuus alkuaikoina. Sekin on korjattu. Luukut sekä täyttötilat ovat kunnossa. Täyttötilat sijaitsevat ahtaassa paikassa, mutta tiheässä taajamassa parempaa paikkaa ei ole löydetty.

## Malmi

Siilossa on käytetty hyödyksi vanha yhteiskäyttötunnelin sisäänmenoaukkoa. Siilossa on varastoitu vain jalkakäytäväsepiä.

Siilon ongelma on kortinlukulaitteen toimimattomuus kosteissa olosuhteissa. Suurempi ongelma on jo rakentamisvaiheessa tullut virhe valettaessa yläpuolista betonikaulusta. Veden ohjaaminen pois täyttöluukun kauluksen juuresta on huonosti tehty. Kun sataa paljon vettä, siilon betonikauluksen ja kallion muodostama tila kerää vettä (kuva 5/2). Vedellä ei ole muuta poispääsyä kuin



**Kuva 5/2: Malmin Kauppatien täyttöalue**

kauluksen ja kalliopinnan kontakti. Tällöin hiekoitushiekka kastuu. Kovilla pakkasilla kuorma saattaa jäätyä hiekoituslaitteisiin.

Ovi toimii automaattisesti ja ramppi on lämmitetty. Ilmastointi toimii kallioon poratun reiän avulla. Raitista ilmaa tulee tilaan yhteiskäyttötunnelia pitkin.



## Hakunila

Hakunilan siilo on vanha 60-luvulla rakennettu kalliotila. Siksi peruskorjauksissa on jouduttu turvautumaan tunnelin laajennukseen, jotta nykykalusto mahtuisi sisään. Siinä ei ole onnistuttu. Suurimpien autojen on edelleen jäätävä ulkopuolelle. Tähän on tulossa korjauksia tulevaisuudessa.

Suurimpana huolenaiheena siilossa on sisäänkäynti. Sisäänkäynnin yläpuolella on jatkuva komuvaara, minkä vuoksi rusnausta suoritetaan säännöllisesti. Tähän olisi ratkaisuna verkotus tai ruiskubetonointi (kuva 6/2). Toinen huolenaihe on veden



**Kuva 6/2: Hakunilan sisäänkäynnin yläosa**

valuminen kalliosta suoraan ovelle, jolloin ovi jäätyy vahvasti kiinni. Sisäänkäynti on lähellä tietä, jolloin ovelle lentää lunta ja oven avautuminen vaikeutuu.

Alapuoliset luukut ovat korroosion vallassa, mutta toimivat kuitenkin moitteettomasti. Täyttöluukut ovat riittävän isot, mutta niille johtava tie liian kapea. Täyttöautot saattavat tulla vastakkain tiellä, jolloin toinen joutuu peruuttamaan.

## Tuomarila

Tuomarilan siilo on tehty jo 60-luvulla, ja sitä on sen jälkeen sekä laajennettu että peruskorjattu. Kalliolaatu on alueella sangen tiheärakoista, mikä on otettu huomioon myöhemmin kyseisen kohteen peruskorjauksessa. Hiekkasiilo on tyhjennetty ja ruiskubetonoitu noin 10 vuotta sitten. Ruiskubetonointi suoritettiin estämään veden pääsyä siiloon sekä komujen putoamista siilosta ajoneuvojen sirottimiin.

Vesivuotoja esiintyy tunnelissa melko paljon. Siitä huolimatta Tuomarilassa on erinomaisesti toimiva suolasiilo. Vedenpoisto on uusittu. Remontin yhteydessä on porattu tunnelin vedenpoistoreikä, minkä kautta vedet on johdettu maastoon. Tunneli on alun perin ollut liian pieni, joten sitä on suurennettu peruskorjauksen yhteydessä.

Ilmastointi kohteessa toimii hyvin. Erikoista oli, että täällä säilytettiin myös öljysoraa pikaisia asfaltinpaikkauksia varten. Öljysora pysyy näin lämpimämpänä kuin ulkona varastoituna. Täyttöluukut olivat huonossa kunnossa (kuva 8/2). Ne vaativatkin lähiaikoina uusimista. Remontoitavaa löytyy myös sisäänmeno-ovissa, jotka ovat huomattavan ruosteessa. Tämä johtuu osaltaan suolasta kyseisessä kohteessa.



**Kuva 7/2: Tuomarilan täyttöluukku**



## Jerikonmäki

Jerikonmäen siilo oli täysin erilainen verrattuna muihin siiloihin. Kyseessä oli niin sanottu avosiilo, jossa hiekkaa ja suolaa säilytettiin kahdessa kasassa. Hiekkasiilossa oli useita täyttöluukkuja, suolasiilossa vain yksi. Lastaus tapahtui joko siilon sisällä tai ulkona käyttäen pyöräkuormaajaa.

Siilossa oli tehty peruskorjaus vuonna 2001, jolloin suolasiiloa laajennettiin maan pintaan. Suolan täyttö toteutettiin yläkautta. Ennen tätä se oli tapahtunut alakautta, jolloin täyttöaste jäi huonoksi. Peruskorjauksen yhteydessä ovet on uusittu sekä sisäänkäynnit ruiskubetonoitu (kuva 8/2). Suurinta korjausta kohteessa vaativat hiekkasiilon täyttöluukut. Kosteusongelmat ovat pysyneet Jerikonmäellä vähäisinä.



**Kuva 8/2: Jerikonmäen sisäänkäynnin tunnelin otsa**



## Suomenoja

Suomenojan siilossa on voimakkaita vesivuotoja. Suomenojalla olisi mahdollisuus sekoittaa suolaliuosta hiekan kanssa, mutta sekoitusta ei ole saatu toimimaan.

Suomenojalla säilytetään öljysoraa, suolaliuosta, suolaa ja hiekkaa. Suola on säkitavarana ja sen saa kuormattua sähkösyöttimellä. Suolaliuos tulee säiliöstä (kuva 9/2) putkia pitkin ja öljysora kasasta. Hiekka on siilossa.



**Kuva 9/2: Suolaliuosastia Suomenojalla**

Hiekka tulee siilon tyhjennysluukuista, joissa oli korroosiota. Luukut toimivat kohtuullisesti. Tämä oli ainoa kohde, jossa esiintyi hiekkapaakkujen kiilaantumista tyhjennysluukkuihin. Erikoisuutena oli kaksi hyvin toimivaa sähköistä luukkua. Täyttöluukut olivat liian pienet, mikä johtuu rakennus-aikaisesta mitoituksesta.

Ilmanvaihto toimi kohtuullisesti. Ilmastointi olisi parannettavissa perälle porattavan reiän avulla. Vedenpoisto toimi kanaalia pitkin.

## Leppävaara

Leppävaaran juuri valmistuneessa siilossa oli huomionarvoista ympäriajettavuus, sekä valaistuksen riittävyys.

Kallio oli rikkonaista, mutta vesivuodot pysyivät kurissa. Yhden salaojan liitos vuoti.

Täyttöluukku on sijoitettu parkkipaikalle talojen väliin. Melusta oli valitettu edellisen täytön aikana. Luukkua ei ole maisemoitu. Maisemointi oli tulevaisuuden suunnitelmissa.

## Gumböle

Gumbölen siilossa etuna oli lastauksen toimivuus. Ylös johtaa kaksi täyttötietä ja kasetointitilaa riittää. Hiekan lastaus hiekoitinlaitteisiin toimii jouhevasti hyvän jonotustilan ansiosta. Huonona puolena on täyttöluukun koko joka saisi olla pitempi. Tämä auttaisi siilon täyttöasteeseen, sillä siilossa jää käyttämättä noin 500 m<sup>3</sup> tilaa, koska täyttöluukkujen väliin muodostuu täyttymätön tila.

Siilossa on vähäisiä vesivuotoja. Ilmanvaihto toimii perällä olevan kallioon poratun reiän avulla. Vedenpoisto on hoidettu tunnelia pitkin menevällä kanaalilla.

Negatiivisena asiana on sähkökeskus, joka on suojaamattomana peruuttavien ajoneuvojen tiellä. Ulkopuolella voisi olla lippa estämässä jäiden muodostumista oviaukolle.

Kohteeseen on rakennettu lisää kaksi perää liittyen kääntöpaikkaan, joihin on sijoitettuna suolaliuosastiat ja öljysoraa asfaltin paikkaukseen. Gumbölestä saa hiekan ja suolaliuoksen sekoitusta.